

النسب العام

تأليف

دكتور محمد علي بكر العززي

دكتور أحمد محمد عاهد

دكتور محمد عبد الرحمن

دكتور أحمد البازوني



مكتبة الأنجلو المصرية

مكتبة الأنجلو المصرية

منتدى سور الأزبكية

WWW.BOOKS4ALL.NET

<https://twitter.com/SourAlAzbakya>

<https://www.facebook.com/books4all.net>



النبات العام

النبات العام

تأليف

دكتور مصطفى عبد العزيز

أستاذ ميكروبيولوجيا - كلية العلوم
جامعة القاهرة

دكتور أحمد محمد مجاهد

أستاذ متفرغ - كلية العلوم
جامعة القاهرة

دكتور عبد الرحمن أمين

أستاذ بيئة نبات
كلية العلوم - جامعة القاهرة

دكتور أحمد الباز يونس

أستاذ فسيولوجيا النبات
وعميد كلية العلوم
جامعة المنصورة (سابقاً)

الناشر

مكتبة الأنجلو المصرية

١٦٥ شارع محمد فريد - القاهرة

رقم الإيداع: ٩٦/٣٠٠٤

دولى I.S.B.N. 977-05-1442-x

المحتويات

٣	مقدمة الطبعة السادسة
٤	مقدمة الطبعة الأولى
٥	الباب الأول : الكائن الحى
١١	فروع علم النبات

القسم الأول : علم الشكل الظاهرى

١٥	الباب الثانى : وصف الشكل الظاهرى لنبات زهرى (نبات الملوخية) .
١٩	الباب الثالث : البذور والإنبات : الشروط اللازمة للإنبات - التغيرات التى تطرأ على البذرة أثناء الإنبات - بذرة الفول - بذرة الفاصوليا - بذرة الترس ، بذرة الحروع - بذرة القطن - حبة الذرة - بذرة البلح - بذرة البصل .
٤٣	الباب الرابع : الجذر : الوظائف الأساسية للجذر - مناطق الجذر - الجذور الوتدية - الجذور العرضية .
٥٣	الباب الخامس : الساق : البراعم - السيقان العشبية والخشبية - السيقان القائمة والضعيفة - محيط الساق - السيقان المصنعة والجوفاء - سطح الساق - السيقان الطويلة والقزمية - تفرع الساق - محورات الساق - التكاثر الخضرى فى النباتات الراقية - التمثيل والتقليم والترقيد .
٨٠	الباب السادس : الورقة : قاعدة الورقة - حلق الورقة - نصل الورقة - أشكال الورقة البسيطة - أشكال الورقة المفصصة - أشكال الورقة المركبة - قبة الورقة - حافة الورقة - تمرق الورقة - التباين الورقى - عمر الورقة - توزيع الأوراق على الساق - الأوراق المتحورة - صور الأوراق .

القسم الثانى : التركيب الداخلى للنبات

١١١	الباب السابع : التركيب الدقيق للخلايا النباتية : الخلايا النباتية بدائية وحقيقية النواة - الخلايا بدائية النواة (الجدار الخلوى والأسواط ،
-----	---

الأغشية البلازمية والسيتوبلازم ، أشباه الجيوب أو الفيلاكويدات ، شبه النواة) .
 الخلايا حقيقية النواة (المضيئات ، الجدار الخلوى والأسواط ، الفشاء البلازمى ،
 السيتوبلازم والشبكة الإندوبلازمية ، فجوة الخلية ، البلاستيدات الخضراء وغيرها
 من بلاستيدات ، أشكال البلاستيدات الخضراء - تركيب البلاستيدات الخضراء فى النباتات
 الوعائية ، البلاستيدات عديمة اللون ، البلاستيدات الملونة ، الميتوكوندريات ،
 الليسوسومات ، السفيروسومات ، السنتروسومات ، الريبوسومات ، الدكتيوسومات
 أو أجسام جولجى ، التركيب الدقيق للدكتيوسومات ، وجود الدكتيوسومات فى
 النباتات ، التركيب الكيميائى للدكتيوسومات ، وظيفة الدكتيوسومات ، النواة ،
 الخلايا وحيدة النواة والخلايا متعددة الأنوية ، شكل النواة ، حجم النواة ، تركيب
 النواة ، الكروماتين النووى ، الكروموسومات أو الصبغيات ، النوية ، العلاقات
 الفشائية فى الخلايا حقيقية النواة) - المحتويات غير الحية للبروتوبلاست - العصير
 الخلوى - نواتج أيضية (كربوهيدرات ، مواد بروتينية ، زيوت ودهون ،
 بلورات أملاح الكالسيوم ، كربونات الكالسيوم ، القلوانيات ،
 الجليكوسيدات ، اليتوع أو اللبن النباتى ، الدباغيات ، أحماض عضوية ،
 الفيتامينات ، الإنزيمات) - الجدار الخلوى - النقر - إنقسام الخلية (المباشر ،
 غير المباشر ، الإختزال) .

١٦١

الباب الثامن : الأنسجة :

الأنسجة الإنشائية (الابتدائية ، الثانوية) - الأنسجة المستديمة - المجاميع النسيجية
 (الأساسية ، الجلدية أو الضامة ، الوعائية أو التوصيلية) - مجموع الأنسجة
 الأساسية (البارنشيمية ، الكولنشيمية ، السكلرنشيمية ، الإفرازية) - الأنسجة
 الداعمية (الكولنشيمية ، السكلرنشيمية ، الخلايا الحجزية) - الأنسجة الإفرازية
 مجموعة الأنسجة الضامة (النسيج البشرى - الثغور) - مجموع الأنسجة الوعائية
 أو التوصيلية (اللحاء ، الخشب) .

٢٠٢

الباب التاسع : التركيب الداخلى لسيقان الحديثة :

طرق التوزيع العام للأنسجة - ساق ذوات الفلقتين (عباد الشمس) - وصف
 قطاع طولى فى ساق عباد الشمس الحديثة - ساق القرع - ساق ذوات الفلقة الواحدة
 (الذرة) .

٢١٧

الباب العاشر : التركيب الداخلى للجذور الحديثة :

جذر نبات من ذوات الفلقتين - جذر نبات من ذوات الفلقة الواحدة
 (السوسن الأصفر) - تكوين الجذور الجانبية .

الباب الحادى عشر : التركيب الداخلى للورقة :

٢٢٥

البشرة - المجموع النسيجي الأساسى الوسطى - المجموع الوعائى - الحزم الوعائية.

الباب الثانى عشر : التغلظ الثانوى :

٢٣٣

التغلظ الثانوى فى ساق ذوات الفلقتين - اللحاء الثانوى - الخشب الثانوى - الحلقات السنوية - الخشب الصمى والخشب الرخو - عقد الخشب - التغلظ الثانوى فى الجذر - التغلظ الثانوى فى ذوات الفلقة الواحدة - الفلين - العديسات - القلف - الثام الجروح - سقوط الأوراق .

الباب الثالث عشر : تأثير البيئة على التركيب التشريحي للنبات .

٢٦٥

النباتات المائية (الإلوديا) - النباتات الجفافية (الرتم ، قصب الرمال ، الدفلة ، الكازوارينا) .

القسم الثالث : النبات التقسيمى

الباب الرابع عشر : تقسيم المملكة النباتية :

٢٧٩

بدائيات النواة والفروق بينها وبين حقيقيات النواة - تصنيف بدائيات النواة - بعض المعايير التصنيفية ، شبه النواة فى بدائيات النواة - البكتريا - نشأة علم البكتريا - إنتشار البكتريا - زراعة البكتريا - المزارع البكتيرية الإثرائية - عوامل نمو البكتريا - أشكال وأحجام البكتريا - تركيب الخلية البكتيرية - الأسواط - المكونات الداخلة للخلية البكتيرية ، المواد المدخلة فى الخلية البكتيرية - المادة الوراثية داخل الخلية البكتيرية - الحركة فى البكتريا - أحجام البكتريا - أقسام البكتريا - البكتريا والمرضى - طرق التغذية فى البكتريا - البناء الضوئى فى البكتريا - البكتريا ذاتية التغذية الكيميائية - البكتريا غير ذاتية التغذية - دورة النيتروجين - النشدة - النيترة - تثبيت النيتروجين - عكس النيترة - ملخص دورة النيتروجين - دورة الكربون - امتصاص البكتريا للغذاء - التكاثري فى البكتريا (الأنشطة الثنائى ، التكاثري الجنسي ، التحويلات ، الأزواج البكتيري التجزئ ، التكاثري بالجراثيم الكونيدية) - فروع علم البكتريا (البكتريا الطبية ، بكتريا الأغذية ، بكتريا الألبان ، البكتريولوجيا الصناعية ، بكتريولوجيا التربة) - تصنيف البكتريا - البكتريا ضوئية التغذية الذاتية - البكتريا المتزلفة -

السيروكيتات - البكتريا الهوائية السالبة لصبغة جرام - البكتريا العصوية
 اللاهوائية اختياريا السالبة لصبغة جرام - البكتريا كيميائية التغذية الذاتية السالبة
 لصبغة جرام - البكتريا العصوية والكروية المنتجة لجراثيم داخلية ، الفطريات
 الشعاعية ، الرايكيتيات ، الميكوبلازومات - الوضع التصنيفي للميكوبلازومات .

الباب الخامس عشر : الطحالب الخضراء المزرققة والفيروسات : ٢٥٧

أولا : الطحالب الخضراء المزرققة - الأصباغ - الشكل الخارجي - التوزيع -
 تركيب الخلية ووظائفها - ترسيب الكربونات - تثبيت النيتروجين - التكاثف -
 التصنيف والأجناس المميزة (جليوكابسا ، أوسيلاتوريا ، نوستوك) - الأهمية
 الاقتصادية . ثانياً : الفيروسات - مقدمة - ماهية الفيروسات - التركيب -
 التصنيف - خواص الفيروسات - تزييع الفيروسات - التركيب الكيميائي
 للفيروسات . آلية المناعة ضد الفيروسات - المناعة الطبيعية والمكتسبة والمنقلة -
 التلازن الدى - الوضع التطوري للفيروسات - البكتريوفاجات - انتشار الفيروسات
 وتكاثرها - الأهمية الاقتصادية للفيروسات - الرايكيتيات وعلاقتها بالبكتريا
 وبالفيروسات .

الباب السادس عشر : الطحالب : ٤١٩

تقسيم الطحالب (يوجلينية ، خضر ، خضر مزرققة ، خضر مصفرة ، بنية ، حمراء)
 - الطحالب اليوجلينية (يوجلينا) - الطحالب الخضراء (كلاميدوموناس ،
 باندورينا ، فولفوكس ، سيروجيرا ، فوشيريا) - الطحالب العصوية
 (الدياتومات) - الطحالب البنية (فيوكس ، سرجاسم) ، الفوائد الاقتصادية
 للطحالب (تثبيت النيتروجين ، بناء الفيتامينات ، الطحالب كغذاء ، الاستغلال
 الطبية ، الألبينات ، الطحالب كسماد بوتاسي ، الطحالب كمصدر لليود ، الفوائد
 الاقتصادية للدياتومات) .

الباب السابع عشر : الفطريات الحقيقية : ٤٥٥

مناهج الحياة بين الفطريات (طفيليات إجبارية ، طفيليات اختيارية ، رميات
 اختيارية ، رميات إجبارية ، فطريات متكافئة) - أقسام الفطريات (فطريات
 طحلبية ، فطريات زقية ، فطريات بازيدية ، فطريات ناقصة) - الفطريات الطحلبية
 (ألبوجو ، بلازموبارا فيتيكولا ، وايزويس نيجريكانس) - الفطريات
 الزقية وأقسامها (زقيات كروية ، زقيات قرصية ، زقيات قارورية) - فطرة

الحميرة - أسبرجيلس - بنيسليام - بيززا - كلا فيسبس بربوريا - الفطريات
البازيدية - باكسينيا جرامينس - عيش الغراب .

٥٠١ الباب الثامن عشر : الأش :

الطرز الرئيسية (خيطية ، قشرية ، ورقية ، شجيرية) - طرق التكاثر -
العلاقة الفسيولوجية ، الفوائد الاقتصادية .

٥٠٧ الباب التاسع عشر : علم الفطريات الطبية :

الأمراض الفطرية بوجه عام - الأمراض الفطرية السطحية (القراع) - الأمراض
الفطرية العميقة أو الجهازية - المرض الفطري السبوروتريكي ، المرض الفطري
الأسبرجيلي الرئوي .

٥١٥ الباب العشرون : المضادات الحيوية :

البنيسيلين - الستربتومايسين - الكلورومايسيتين - مضادات حيوية أخرى .

٥٤٣ الباب الحادى والعشرون : الأرشيجونيات :

الصفات العامة المميزة للأرشيجونيات (الأرشيجونة ، الأثرية ، تبادل الأجيال)
الأقسام الرئيسية (النباتات الكبدية ، الهباتية ، النباتات الحزازية ، النباتات
البيرية ، عاريات البذور) .

٥٢٩ الباب الثانى والعشرون : النباتات الحزازية :

أولاً : النباتات الهباتية (الريشيا - الماركانتيا) - ثانياً : النباتات الحزازية
(الفيتوناريا) .

٥٤٩ الباب الثالث والعشرون : النباتات البيرية والميكروفيلية :

بعض أقسام النباتات الوعائية غير البذرية - النباتات البذرية متشابهة الجراثيم -
المرخسيات - (كزيرة البر) - النباتات البذرية متباينة الجراثيم - الرصنيات
(الرصن) - العلاقة بين النباتات الوعائية الالبذرية والنباتات البذرية .

٥٧٧ الباب الرابع والعشرون : عاريات البذور :

الصنوبر - الخاريط - الخروط الذكري أو السدائي - الخروط الأنثوي أو
البويضى - التلقيح والإخصاب - تكوين الجنين والبذرة .

٥٩٣ الباب الخامس والعشرون : كاسيات البذور : الزهرة

الكأس - التوزيع الزهرى - الطلع - المتاع - الوضع المشيمى - أشكال البويضة
ترتيب المحيطات الزهرية على التخت - الرموز الزهرية - القانون الزهرى .

٦٠٥ الباب السادس والعشرون : النورة :

النورة غير المحدودة-النورة المحدودة-التلقيح (الموائى ، الحشرى)-آلية التلقيح-
تكوين الكيس الجنينى - الإخصاب - تكوين الجنين .

٦٢٧ الباب السابع والعشرون : الثمار :

الثمار البسيطة الجافة غير المتفتحة (الفقيرة ، السبلاء ، البرة ، البندقة ،
الجناحية) - الثمار الجافة المتفتحة (الجرابية ، القرنة أو البقل ، الخردلة ، العلبة)
- الثمار المنشقة - الثمار الطرية (الحسلى ، اللبية ، التفاحية) - الثمار المتجمعة -
الثمار المركبة - الثمار الكاذبة - انتشار الثمار والبذور - الانتثار بواسطة الرياح
- الانتثار بواسطة الحيوان - الانتثار بواسطة الماء - الانتثار الميكانيكى .

٦٤١ الباب الثامن والعشرون : تقسيم النباتات كاسيات البذور :

النظم التصنيفية (لينيس ، بنتام وهوكر ، أيشلر ، إنجلر ، وتستين ، بى ،
هالير ، ريندل) - ذوات الفلقة الواحدة (الفصائل النجيلية والنخيلية والزنبقية
والسوسنية) - ذوات الفلقتين (فصائل أزهارها عارية ، فصائل غلافها الزهرى
من محيط واحد ، فصائل غلافها الزهرى من سبلات وبتلات منفصلة ، فصائل
غلافها الزهرى من وحدات ملتحة) - فصائل ذوات الفلقة الواحدة (رتبة
القنبيات ، الفصيلة النجيلية ، نبات القمح ، الشعير ، الذرة الشامية - رتبة
البرنسيات ، الفصيلة النخيلية ، نخيل البلح - رتبة الزنبقيات ، الفصيلة الزنبقية ،
الأورنيثوجالم - الفصيلة السوسنية ، نبات السوسن . فصائل ذوات الفلقتين :
الصفصافية والتوتية والقرنفلية والحشاشية والصليبية والوردية والفراشية والبقمية
والطلحية والجبرونية والسذابية والحبابية والبنفسجية والآسية والحيمية والزيتونية
والأبرسينية والعلاقية والوربانية والشفوية والباذنجانية وفصيلة حنك السبع
والبجنونية والقرعية والمركبة .

القسم الرابع

وظائف الأعضاء

٧١٩ الباب التاسع والعشرون : البروتوبلازم والحالة الغروانية :

البروتوبلازم - الحالة الغروانية - تقسيم المحاليل الغروانية إلى كارهة لوسط الانتشار ومحبة لوسط الانتشار - الغروانيات المتصلبة وخواصها - بعض الخواص العامة للمحاليل الغروانية (الانتشار والفصل الغشائي ، الزوجة ، ظاهرة تبدال الحركة البراونية ، الخواص الكهربائية ، الترسيب ، التجمع السطحي أو الامتزاز) - الخواص الفيزيائية للبروتوبلازم - الأغشية البلازمية .

٧٤٧ الباب الثلاثون : الخاصة الأزموزية :

أنواع الأجهزة الأزموزية الصناعية - علاقة الخلية النباتية بالخاصة الأزموزية (الخلية كجهاز أزموزي - البلزمة ، الضغط الأزموزي وضغط الامتلاء وقوة الامتصاص الأزموزية للخلية النباتية ، تقدير الضغط الأزموزي للمصير الخلوي الخلوي ، طريقة انخفاض درجة التجمد ، تقدير قوة الامتصاص الأزموزية بطريقة الشريحة المبسطة أو بالوزن أو بطريقة التقوس) - العوامل التي تؤثر على الضغط الأزموزي للخلايا النباتية (البيئة ، نوع النبات ، مكان الخلية أو النسيج في النبات ، عمر النسيج النباتي ، الأوقات المختلفة من اليوم أو العام) - الدور الذي تقوم به الخاصة الأزموزية في حياة النبات .

٧٦٨ الباب الحادي والثلاثون : نفاذية الخلية للمواد الذائبة :

نفاذية الخلايا للمواد الذائبة غير القابلة للتأين - نفاذية الخلايا للمواد الذائبة القابلة للتأين (الإلكترونية) - العوامل التي تؤثر في نفاذية البروتوبلازم للمواد (درجة الحرارة ، الضوء ، المواد السامة ، المواد الذائبة في بيئة النبات) ، التضاد .

الباب الثاني والثلاثون : العلاقات المائية للنبات

امتصاص الماء - آلية امتصاص الماء (التشرب ، الامتصاص المباشر للماء ، الامتصاص غير المباشر («السبي») للماء - العوامل التي تؤثر في امتصاص الجذر للماء (تركيز محلول التربة ، المحتوى المائي للتربة ، درجة حرارة التربة ، تهوية التربة) - صعود العصارة في الساق - القوى التي تعمل على رفع العصارة (النظرية الحيوية ، الضغط الجذري ، التشرب والخاصة الشعرية ، نظرية التماسك) - النتح - النتح الأدنى والنتح الثفري - طرق تقدير النتح (طرق تقدير كمية بخار الماء المفقود ، طرق تقدير النقص في وزن النبات ، طرق تقدير الماء الممتص) - الجهاز الثفري - معدل الانتشار خلال الثفور - حركة الثفور وعلاقتها بالضوء والظلام - العوامل الخارجية التي تؤثر في معدل النتح (رطوبة الجو النسبية ، درجة الحرارة ، الضوء ، حركة الهواء) - العوامل الداخلية التي تؤثر في معدل النتح (الفتحة الثفرية ، المحتوى المائي للخلايا الناتجة ، التحورات النباتية التي تؤثر في النتح كالثفور الغائرة والأدمة السبكة واختزال مساحة السطح الناتح) - التوازن المائي في النباتات - الإدماع .

الباب الثالث والثلاثون : الإنزيمات :

طبيعة الإنزيم النقي - طبيعة عمل الإنزيم - تخصص الإنزيمات - الفعل المكسب للإنزيمات - العوامل التي تؤثر في النشاط الإنزيمي - تقسيم الإنزيمات - إنزيمات التأكسد والاختزال (الأكسيدات - البيروكسيدات - الكاتاليز - الديميدروجينيزات) - الإنزيمات الناقلة - إنزيمات التميؤ والتحليل المائي - إنزيمات الإضافة - إنزيمات التشابه - إنزيمات البناء .

الباب الرابع والثلاثون : التنفس :

التنفس الهوائي - استنفاد الطاقة المنطلقة من التنفس - معامل التنفس أو النسبة التنفسية - طرق تقدير سرعة التنفس (طريقة التيار الهوائي المستمر ، الطرق المانومترية ، مقياس جانونج للتنفس) - سرعة التنفس في النباتات والأنسجة المختلفة - العوامل التي تؤثر في سرعة التنفس (درجة الحرارة ، تركيز الأكسجين الجوي ، تركيز ثاني أكسيد الكربون ، تركيز مادة التنفس ، المحتوى المائي للأنسجة ، الضوء ، تأثير إضافة بعض المواد الكيميائية ، تأثير إحداث الجروح) التنفس اللاهوائي - آلية التنفس - المرحلة اللاهوائية للتنفس - خطوات تكوين الكحول من حمض البيروفيك في التخمر الكحولي - المرحلة الهوائية للتنفس التأكسد الختام وانطلاق الطاقة .

الباب الخامس والثلاثون : البناء الضوئي :

غذاء النبات ومصادره ماهية البناء الضوئي - طرق تقدير سرعة البناء الضوئي - الكلوروفيل (تركيبه وتكوينه وخواصه) - العوامل المحددة في البناء الضوئي - العوامل التي تؤثر في سرعة البناء الضوئي - العوامل الخارجية (تركيز ثاني أكسيد الكربون ، شدة الإضاءة ، درجة الحرارة) - العوامل الداخلية (الكلوروفيل ، العامل البروتوبلازمي ، تراكم نواتج البناء الضوئي) - آلية البناء الضوئي - مصدر الأكسجين المتصاعد - تفاعل هل - المجموعتان الصبغيتان - وحدة البناء الضوئي - الفسفرة الضوئية - الفسفرة الضوئية غير الدائرية - الفسفرة الضوئية الدائرية - تثبيت ثاني أكسيد الكربون واختزاله (دورة كالفين) - مسار هاثش وسلاك لتثبيت ك_٢ - البناء الضوئي والكميائي في البكتريا .

الباب السادس والثلاثون : الأيض النباتي :

(أ) الأيض الكربوهيدراتي - الخواص العامة للسكريات - أحاديات السكر ثنائيات السكر - عديدات السكر - (ب) الأيض النيتروجيني - البروتينات الأحماض الأمينية - مراحل البناء البروتيني - تثبيت النيتروجين - دورة النيتروجين - (ج) الأيض الدهني - الدهون .

الباب السابع والثلاثون : التغذية المعدنية :

العناصر التي توجد في النبات - العناصر الأساسية وغير الأساسية - المزارع المائية والرملية - دور العناصر الأساسية في تغذية النبات (النيتروجين ، الفسفور ، الكبريت ، البوتاسيوم ، الكالسيوم ، الماغنسيوم ، الحديد ، المنجنيز ، البورون ، الزنك ، النحاس ، الموليبديم) - الدور الفسيولوجي لبعض العناصر الأخرى - طرق الكشف عن نقص العناصر في الحقل (تشخيص الأعراض المرئية على النبات ، التحليل الكيميائي للتربة ، الاختبار الأحيائي للتربة ، التحليل الكيميائي للنبات .

الباب الثامن والثلاثون : الإنبات والكمون :

العوامل الخارجية (الماء ، درجة الحرارة ، الأكسجين ، الضوء) - الكون وأسبابه (عدم اكتمال نضج الجنين ، عدم إنفاذ غلاف البذرة للماء والأكسجين ، مقاومة غلاف البذرة للتشقق ، كون الجنين) - الكون الثانوي - أمد احتفاظ البذور بحيويتها .

مناطق النمو ومراحلته (مرحلة الانقسام الخلوى - مرحلة الزيادة فى حجم الخلية ، مرحلة التميز الخلوى - طارق قياس النمو) طريقة تقدير الزيادة فى الطول ، طريقة تقدير الزيادة فى المساحة ، طريقة تقدير الزيادة فى الوزن الجاف) - فترة النمو الكبرى - العوامل التى تؤثر فى النمو - هرمونات النمو - اكتشاف هرمونات النمو - الأكسينات - الخواص الكيميائية - توزيع الأوكسين وتكوينه فى النبات - إنتقال الأوكسين - دور الأوكسين فى استطالة الخلايا - آلية عمل الأوكسين - دور الأوكسين فى الانتحاءات (الانتحاء الضوئى ، الانتحاء الأرضى) - بعض التأثيرات الأخرى للأوكسين فى النبات (تكوين الثمار اللاهذرية ، تكوين الجذور على العقل الساقية والورقية ، الأوكسين والنشاط المرستيمى - تعطيل نمو البراعم ، الأوكسينات كبيدات عشبية) - الجبريلينات - السيتوكينينات .

الارتباج - التوافق الضوئى - الفيتوكروم

القسم الخامس

الوراثة وعلم الخلية

مندل وأثره فى علم الوراثة - القانون الأول لمندل أو قانون الانعزال (وحدة الصفات المستقلة ، نقاوة الأمشاج ، التلقيح الرجمى ، التلقيح الاختبارى) - القانون الثانى لمندل أو قانون التوزيع المستقل - توارث الصفات فى الحيوانات - نسب الطرز المظهرية فى الجيل الثانى ونظرية ذات الحدين - تفسير قوانين مندل والنظرية الصيفية - الخلايا الجسدية والخلايا الجرثومية - الانقسام الاختزالى - العلاقة بين سلوك الصبغيات وعوامل الوراثة .

الانتخاب الفردى فى النباتات

الباب الثالث والأربعون : السيادة المشتركة وتداخل الفعل الجيني : ١٠٧٧

العوامل المكملة - العوامل المتفوقة - العوامل المانعة - العوامل المزدوجة -
العوامل المميتة .

الباب الرابع والأربعون : الوراثة والجنس : ١٠٩١

الصيغيات المتغايرة والذاتية - الصيغيات الجنسية في النباتات - صفات مرتبطة
بالجنس .

الباب الخامس والأربعون : التطور العضوي والطفرة : ١١٠٣

النظرية اللاماركية في الاستعمال وعدم الاستعمال - النظرية الداروينية للانتخاب
الطبيعي - نظرية البلازم الجرثومي، لوايزمان - نظرية الطفرة لدى فريز - الطفرة
(الكروموسومية ، الجينية) - تأثير الطفرة - أنواع الطفرات - الطفرات
البرمية - الطفرة والبيئة - الطفرة والتطور .

الباب السادس والأربعون : الوراثة البشرية : ١١١٧

الأمراض الإنسانية - الوراثة والبيئة - التوائم - الصفات والعيوب المتوارثة
في الإنسان (تركيبية ، وظيفية ، عقلية) - صفات مرتبطة بالجنس - سلسلة
العوامل الأليلية وفصائل الدم في الإنسان - العامل الريزيسي .

الباب السابع والأربعون : الهندسة الوراثية : ١١٥٣

إنتقال البلازميدات في البكتيريا - إتصال البلازميدات - إنتقال الجينات
الحيوانية - التطبيقات المحتملة .

مقدمة الطبعة السادسة

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله ، والصلاة والسلام على رسول الله ، وبعد .
ففى هذه الطبعة الجديدة نتابع محاولتنا لتطوير الكتاب وتحديثه ورفع
مستواه ليكون على الدوام مساهرا للتطور العلمى الذى لا يتوقف .

وفى سبيل ذلك تم التوسع فى بعض أبواب الكتاب وعلى الأخص
تلك الأبواب التى تناولت الكائنات الدقيقة . نظراً لما أتاحه استخدام المجهر
الإلكترونى من الكشف عن أعداد لاحصر لها من تلك الكائنات ، والتغلغل
إلى أدق تفاصيلها التركيبية والتصنيفية والفسىولوجية ، كما أعيدت كتابة
بعض الأجزاء ، وصنفت النباتات غير الزهرية على أسس تصنيفية حديثة ،
ووجهت عناية خاصة لرفع مستوى الطباعة والصور والرسوم .

ويعز على فريق المؤلفين أن ينمى إلى قراء « النبات العام » زميلاً كريماً
من زملائهم هو الأستاذ الدكتور مصطفى عبد العزيز أستاذ علم الميكروبيولوجيا
بجامعة القاهرة ، وأحد رواد هذا العلم وعميد معلميهِ فى العالم العربى ، كان
رحمه الله مثلاً يحتذى فى النشاط والدقة والأمانة العلمية والإخلاص فى العمل
عوضنا الله فى فقدته خيراً ، ووفقنا إلى ترسم خطاه والنسج على منواله وأسكنه
فسيح جناته .

المؤلفون

القاهرة فى يناير سنة ١٩٨٦

مقدمة الطبعة الأولى

الحمد لله رب العالمين ، والصلاة والسلام على سيد المرسلين ، سيدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين ، أما بعد ، فقد قام مؤلفو هذا الكتاب منذ سنوات بوضع مؤلفهم « علم النبات العام » ليكون مرجعا وافيا باللغة العربية لطلاب هذا العلم في مختلف الكليات الجامعية ، وجاء التطوير الجديد للجامعات فنص على التعجيل باستعمال اللغة العربية كافة تدريس بالكليات العمومية التي ما زالت تستعمل اللغة الإنجليزية ، وتبين للمؤلفين أن المسادة العلمية التي يتضمنها كتاب « علم النبات العام » أكثر تفصيلا وأغزر منهاجا مما يحتاج إليه طلاب الفرق الاعدادية لكليات الطب البشري وطب الأسنان والطب البيطري ، الأمر الذي يجعل استخلاصهم لما يحتاجون إليه غير يسير . وبدا جليا أن منفعة هؤلاء الطلاب تقتضي إعداد طبعة خاصة مختصرة لكتاب « علم النبات العام » تتضمن أساسيات هذا العلم بالقدر الذي يغطي مناهج الدراسة في هذه الاعداديات ، كما يفى في الوقت ذاته باحتياجات المعاهد العليا التي تعنيها دراسة علم النبات ، وذلك دون استفاضة لاندعو إليها الحاجة ، أو اقتضاب قد يخل بمقتضيات الشرح والتوضيح .

وها نحن نقدم للطلاب مؤلفنا الموجز الجديد ، الذي أسميناه « مقدمة النبات العام » ، راجين أن يجدوا فيه ما يروى غلتهم من هذا العلم ، أما من شاء منهم الاستزادة فعليه أن يرجع إلى كتاب « علم النبات العام » ذاته .

والله نسأل أن يسدد خطانا ويجعل التوفيق حليفنا فيما نهدف إليه من خدمة العلم وطلابه من أبناء الأمة العربية الكريمة .

المؤلفون

القاهرة في رجب سنة ١٣٧٩

الموافق يناير سنة ١٩٦٠

الباب الأول

الكائن الحى

تنقسم الموجودات التى يحتوئها هذا الكون إلى قسمين :

الأول - كائنات حية : هى مختلف أنواع النبات والحيوان .

الثانى - مواد غير حية : هى الماء والهواء والأرض والمعادن وما إليها .

والحياة أهم صفات الكائن الحى ، وقد يكون من الصعب تعريف « الحياة » تعريفاً دقيقاً ، ولكن من المؤكد أن سرها يكمن فى تلك المادة التى يبنى منها جسم الكائن الحى ، وهى مادة البروتوبلازم (Protoplasm) .

والبروتوبلازم مادة معقدة التركيب ، لم يتوصل العلم بعد إلى كشف جميع أسرارها ، وإن كان قد كشف الكثير من صفاتها وخصائصها . تحدث بها جميع التغيرات الفيزيائية والكيميائية التى تنطوى عليها وظائف الحياة ، كالحركة والنمو والتغذية والتنفس والتمثيل والتكاثر .

مميزات الكائن الحى

تتميز الكائنات الحية عامة ، سواء منها الكائنات النباتية والحيوانية ، بقدرتها على تأدية الوظائف الآتية :

التغذية : وهى تناول مواد الغذاء بإدخالها من خارج الجسم إلى داخله .

التمثيل : وهو تحويل مواد الغذاء بعد تناوله إلى صورة مماثلة لمادة الجسم الحى ، وذلك بوساطة ساسلة من التغيرات الكيميائية المعقدة .

النمو : وهو ازدياد حجم الجسم ووزنه وأبعاده المختلفة ، نتيجة لتكون مادة حية جديدة فى عمليتى التغذية والتمثيل ، وإضافتها إلى مادة الجسم وإدخالها فى بنائه .

الإحساس : وهو أن يشعر الكائن الحي بالخوافز والمؤثرات الخارجية .
فيستجيب لها أو يرد عليها ، والإحساس صفة اختصت بها الكائنات الحية دون سواها . والحيوان أكثر إحساساً من النبات بفضل جهازه العصبي والعضلي ، إذ ينقل الجهاز العصبي الإحساس بالمؤثرات ، فيستجيب الجهاز العضلي لها أو يرد عليها بالحركة . ومن مظاهر الإحساس عند النبات أن بعض الطحالب الخضراء وحيدة الخلية ، إذا وضعت في إناء زجاجي به ماء ، ووضع الإناء في مكان مظلم ينفذ إليه الضوء من ثقب محدد في ناحية واحدة ، فإن الطحالب تستجيب لخافز الضوء ، فتسبح بأهدابها تجاهه ، وتتجمع في ذلك الجانب من الإناء المواجه لمصدره ، وفي بعض النباتات الراقية - كنبات عباد الشمس مثلاً - تدور النورة مع الشمس أثناء النهار ، فتواجه المشرق في الصباح ، ثم تتحول تدريجياً لتواجه الشمس الغاربة آخر النهار .

الحركة : وهي أن يغير الكائن الحي موضع جسمه أو بعض أجزائه ، فالحيوان مثلاً يستطيع الانتقال بكايته من مكان إلى آخر ، وكذلك تفعل النباتات البدائية التي تسبح في الماء بأهدابها . أما النباتات الراقية فتتشب جذورها في الأرض وتثبت اتصالها بها ، وبذلك لا تستطيع الانتقال بكل جسمها ، بل تقتصر حركتها على بعض أجزائها ، كأنفراج الثغور وانغلاقها ، وتفتح البراعم والأزهار ، وانقباض الأوراق وانبساطها ، وانسياب المادة الحية داخل الخلايا .

التنفس : وهو وظيفة حيوية هامة ، اختصت بها الأحياء دون الجماد ، فيها يستخلص الأكسجين من الهواء الجوي الذي يدخل الجسم ، وينتج غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج من تأكسد المواد الغذائية . وتتخلص فائدة التنفس في توليد طاقة يعتمد عليها الكائن الحي في تأدية وظائفه الحيوية الأخرى كالتمثيل والحركة والنمو .

التكاثر : تستطيع الكائنات الحية عندما تبلغ سنّاً معينة ، تختلف باختلاف الأنواع ، أن تنتج أفراداً مماثلة لها في النوع . وبذلك تتكاثر ، والتكاثر من خصائص الأحياء ، ولا وجود له في المواد غير الحية .

تقسيم الكائنات الحية

تنقسم الكائنات الحية إلى نبات وحيوان . أما النبات فقد اختلفت بدراسته علم يعرف « بعلم النبات » (Botany) ، بينما اختلف « علم الحيوان » (Zoology) بالدراسات الحيوانية . أما دراسة الكائنات الحية من حيث هي أحياء فحسب ، لها خصائص الحياة وصفاتها ، فتدخل في نطاق علم الحياة (Biology) ، وأهم الفروق بين النبات والحيوان هي :

١ - طريقة التغذية والتمثيل :

يتألف غذاء الحيوان عادة من مواد عضوية معقدة التركيب ، بعضها صلب وبعضها سائل ، أما غذاء النبات فيتألف من مواد بسيطة التركيب : تنحصر في الماء والأملاح الذائبة التي يمتصها من محلول التربة عن طريق الجذور ، وفي غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يمتصه من الهواء الجوي المحيط به .

ويستطيع النبات أن يبني مواد عضوية معقدة التركيب من غذائه البسيط غير العضوي . وأهم عمليات البناء هي التي يستمد فيها الطاقة من ضوء الشمس ، وتعرف بالبناء الضوئي (Photosynthesis) . ويشترط لحدوثها وجود مادة اليخضور - أي الكلوروفيل (Chlorophyll) - وهي ذلك الصبغ الأخضر الذي تتلون به الأوراق النباتية الخضراء .

٢ - اليخضور (الكلوروفيل) :

تتميز معظم النباتات باللون الأخضر ، وهو يعزى - كما قدمنا - إلى وجود مادة اليخضور في أوراقها ومعظم أجزائها الهوائية . أما أنواع الحيوان فليس بها يخضور ، ولونها في الغالب غير أخضر ، وفي الحالات النادرة التي تتلون فيها بالخضرة يكون اللون مسبباً عن صبغ آخر غير اليخضور .

٣ - الحركة :

إذا استثنينا الحركات الهدبية التي تقوم بها بعض النباتات البدائية ،
والحركات الإحساسية البسيطة التي تستجيب بها بعض النباتات الراقية والأولية
لمؤثرات الضوء واللمس وغيرهما ، فإن الحركة الواضحة الملموسة تعتبر من
أهم الصفات التي يختص بها الحيوان دون النبات ، وتعزى قدرة الحيوان على
الحركة إلى وجود جهازه العضلي .

٤ - التفرع :

تتجمع أعضاء الحيوان وتركز حول جهازه الهضمي الذي يمدّها بالغذاء ،
ولذلك فجسمه محدود غير متفرع . أما النبات فيتفرع بمجموعه الخضري في
الهواء تفرعات متكررة ، ليعرض أوراقه للضوء وأزهاره وثماره لعوامل
التلقيح والانتثار ، كما تتفرع جذوره في التربة ، وتمتد بعيداً لتشغل أكبر
حيز ممكن من الأرض ، فيساعدها ذلك على وفرة امتصاص الماء والأملاح .

٥ - النمو :

النمو مستمر في النبات ومحدود في الحيوان ، وذلك لأن هناك قمماً نامية
في النباتات مستمرة النشاط طول حياتها ، وتوجد تلك القمم عادة في أطراف
الجذور والسيقان ، أما الحيوان فيستمر نموه حتى البلوغ ، ثم يتوقف بعد ذلك .

نبذة عن تاريخ علم النبات

كان الإقدمون في الأزمنة الغابرة يجمعون النباتات البرية ، ويصنفونها ،
ويلبسون خصائصها لغرض المنفعة فحسب ، أما الدراسة العلمية البحتة فلم
تكن تخطر لهم ببال ، وكانت المنفعة الطبية أهم الأغراض التي يستعملون
فيها النباتات .

وفي بلاد الإغريق القديمة تألفت جماعة يقال لها « الريزوتوموا » (Rhizotomoi) ، تضم أطباء وزراعيين ، غرضها جمع الأجزاء النباتية المختلفة ، من أوراق وجذور وغيرها ، بقصد استعمالها في علاج بعض الأمراض .

ولم يبدأ الاهتمام بدراسة النبات كعلم إلا في عهد أرسطو (Aristotle) حوالي سنة ٣٨٠ ق.م ، فهو لذلك يعتبر بحق « أبا التاريخ الطبيعي » ثم جاء الإسكندر الأكبر عام ٣٥٦ ق.م . فشجع الدراسات النباتية ، وخاصة ما اتصل منها بالنباتات الطبية ، وبذل لها كل ما استطاع من عون ومال .

أما أول سجل مدون معروف في دراسة النباتات وتقسيمها فهو ذلك الذي وضعه ثيوفراستوس (Theophrastus) ، ذلك العالم الإغريقي الذي عاش في الفترة من سنة ٣٧٠ - سنة ٢٨٥ ق.م. وثيوفراستوس هو تلميذ أرسطو ، وقد عرف مؤلفه باسم « التاريخ الطبيعي للنباتات » ، أما المعلومات التي وردت في ذلك المؤلف ، وإن اعتبرت أولية بالنسبة لما وصل إليه علم النبات من تقدم في عصرنا الحاضر ، فهي جديرة بالإعجاب والتقدير ، نظراً لأصالتها ودقتها .

ولم يحدث بعد عهد ثيوفراستوس أى تقدم في دراسة النبات إلى أن جاء « ديوسكوريدس » الإنجليزى سنة ٣٧ ميلادية فألف موسوعته المعروفة في « المادة الطبية » (Materia Medica) ، وضمها وصفاً دقيقاً لبضع مئات من النباتات الطبية ، وقد ظل هذا المؤلف متداولاً حتى القرن السابع عشر .

وفي القرن السادس عشر دب النشاط في دراسة علم النبات من جديد ، واضطرد ذلك واستمر حتى وقتنا الحاضر . ويعتبر المؤلف الذي وضعه العالم الايطالى « سيزالينو » (Caesalpino) في علم النبات في منتصف القرن السادس عشر باكورة إنتاج تلك الفترة المشرقة .

وفي مستهل القرن الثامن عشر ظهر العالم السويدي «لينيس» (Linnaeus) الذي عاش بين سنتي ١٧٠٧ و ١٧٧٨ ميلادية : والذي يعتبر من أبرز علماء العصر الحديث . وقد عني لينيس أكثر شيء بوصف أجزاء النبات : ساقه وجذره وأوراقه وأزهاره وثماره وبذوره ، وميز الاختلافات العديدة في شكل هذه الأعضاء في النباتات المختلفة ، ثم قسم النباتات ورتبها على هذا الأساس ، وأعطى كل نبات اسماً مختصراً بسيطاً .

ولا يفوتنا أن ننوه في هذا المقام بالإضافات القيمة التي أضافها العلماء العرب القدامى إلى الدراسات النباتية . ومن ألمع نجوم العرب جابر بن حيان (٧٠٠ - ٧٦٥ م) . وقد كان اهتمامه بالتركيب الكيميائي للنباتات أكثر منه بالدراسات النباتية البحتة ، ثم أبو بكر الرازي (٨٦٥ - ٩٢٥ م) ، ثم ابن سينا (٩٨٠ - ١٠٣٧ م) ، وقد قصر اهتمامه على النباتات الطبية ومنافعها . ومن مشاهير علماء العرب أيضاً عبد اللطيف البغدادي وابن البيطار (١١٩٧ - ١٢٤٨) ، ثم الرحالة العالمي ابن بطوطة (١٣٠٤ - ١٣٦٩) . وداود الأنطاكي صاحب التذكرة المشهورة .

على أن هؤلاء العلماء الأعلام قد عنوا بالناحية الطبية والاستغلالية أكثر من عنايتهم بالناحية العلمية البحتة .

فروع علم النبات :

تشعبت الدراسات النباتية في العصر الحديث ، واتسعت آفاقها اتساعاً كبيراً حتى صار من المتعذر أن يلم عالم واحد بجميع شعبها ، ومن هنا بدأ التخصص : فقسم علم النبات إلى عدد من الفروع الرئيسية ، شأنه في ذلك شأن بقية العلوم ، وركز كل متخصص إهتمامه على فرع من هذه الفروع ، مع الإحاطة العامة ببقية الفروع .

وأهم فروع علم النبات المعروفة في الوقت الحاضر هي الفروع الآتية :

- ١ - الشكل الظاهري (Morphology)
- ٢ - التشريح أو التركيب الداخلى (Anatomy)
- ٣ - البيئة النباتية (Plant Ecology)
- ٤ - النبات التقسيمى (Systematic Botany)
- ٥ - علم الفطريات (Mycology)
- ٦ - علم أمراض النبات (Plant Pathology)
- ٧ - علم وظائف الأعضاء (Physiology)
- ٨ - علم الوراثة (Genetics)
- ٩ - علم الخلية (Cytology)
- ١٠ - علم البكتيريا (Bacteriology)
- ١١ - علم الفيروسات (Virology)

ويزداد عدد هذه الفروع باستمرار ، إذ كلما اتسع نطاق العلم فى ناحية استحدث فرع جديد لرعاية هذه الناحية وتعهدها وتنميتها .

ومن بين الفروع التى أدخلت حديثاً « علم النبات الاقتصادى أو التطبيقى » (Economic or Applied Botany) ، الذى يهدف نحو دراسة النباتات ذات القيمة الاقتصادية والاستغلال الصناعى أو الطبى لما تعطيه من منتجات .

طريقة تسمية النباتات :

يحمل كل نبات اسماً مزدوجاً - أى مكوناً من كلمتين - تدل الأولى على اسم الجنس (Genus) ، وتبدأ بحرف كبير فى اللغة اللاتينية (وهى غالباً المستعملة فى التسمية العلمية) وتدل الثانية على اسم النوع (Species) ، وتبدأ بحرف صغير . فالاسم العلمى لنبات القمح الهندى مثلاً هو (*Triticum vulgare*) ،

وإذا كان النبات المراد تسميته ينتمى إلى صنف (variety) بعينه من أصناف نوعه ، ذكر اسم الصنف بعد اسم النوع . ، فيقال لنبات القطن من صنف الكرزك مثلاً : Gossypium barbadense v. Karnak .

وإذا أريدت زيادة الدقة في التسمية ذيل اسم النبات بذكر الحرف الأول (أو الحروف الأولى) من اسم العالم الذى سماه . فيقال لنبات البصل مثلاً Allium cepa L. ، حيث يرمز حرف (L) إلى العلامة (Linnaeus) الذى وضع الاسم .



القسم الأول

—

علم الشكل الظاهري

(MORPHOLOGY)

البَابُ الثَّانِي

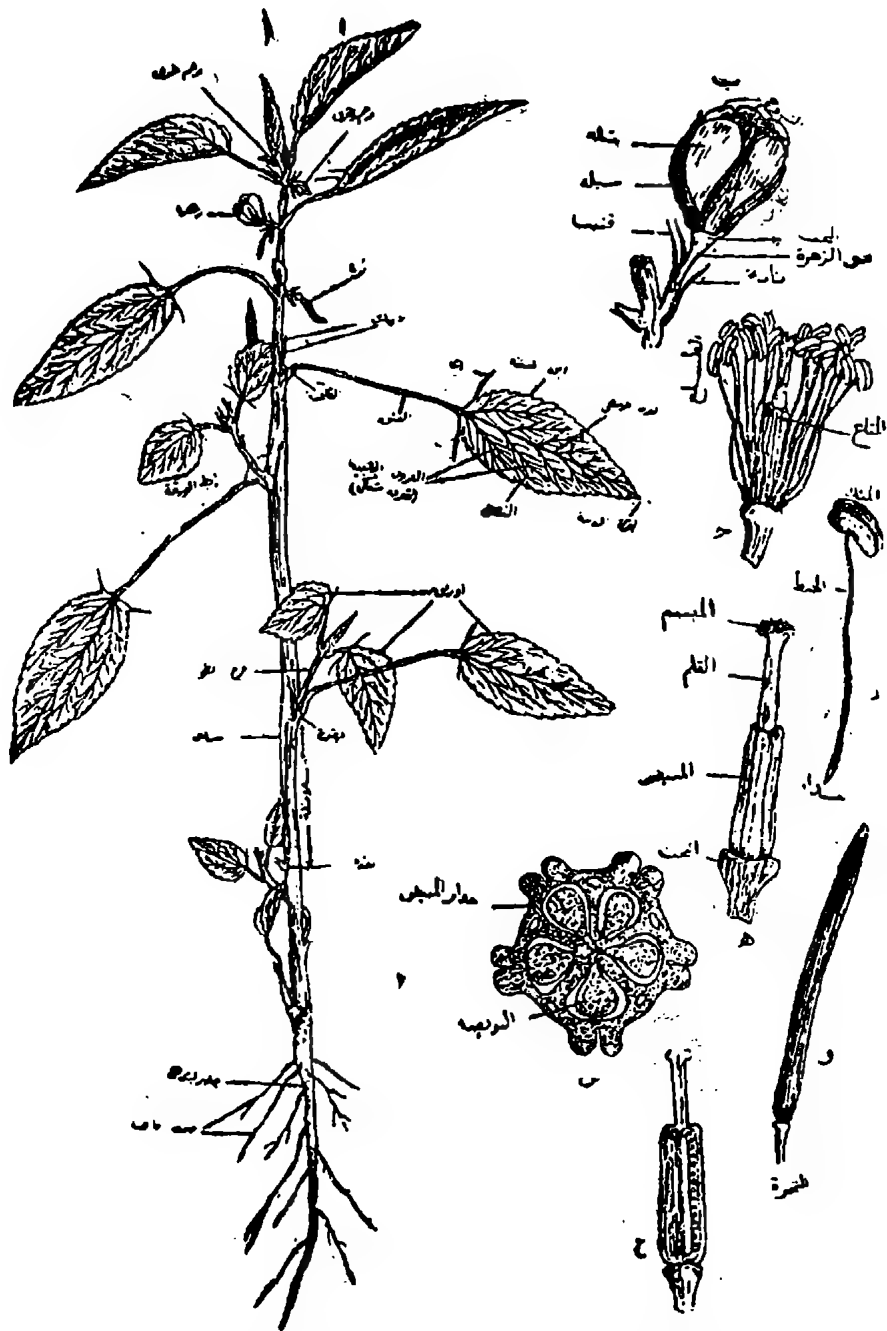
وصف الشكل الظاهري لنبات زهري

نبات الملوخية

يعتبر نبات الملوخية نموذجاً ملائماً لدراسة الشكل الظاهري العام للنباتات الزهرية ، تسهل على الطالب المبتدئ دراسته لوفرتة ، ووضوح أجزائه مع صغر حجمه ، وهو كثير الانتشار في الأراضي المنزرعة ويختلط بنباتات المحاصيل كعشب برى ، ويستعمل في مصر غذاء للإنسان ، وهو أحد أفراد الفصيلة الزيزفونية (Tiliaceae) ، واسمه العلمي (Corchorus olitorius) ويتركب أساساً من مجموعتين من الأعضاء ، شأنه في ذلك شأن سائر النباتات الزهرية ، وتوجد إحدى هاتين المجموعتين تحت الأرض وتعرف بالمجموع الجذري ، والأخرى في الهواء وتعرف بالمجموع الخضري (شكل ١ : ١) .

ويتكون المجموع الجذري (Root system) من محور رئيسي يمتد إلى أسفل على إستمقامة الساق—يعرف بالجذر الابتدائي (Primary root) — وهو يتغلغل عمودياً في التربة في اتجاه الجاذبية الأرضية ، وتخرج منه فروع جانبية تعرف بالجذور الثانوية أو الجانبية (Secondary or lateral roots) ، تمتد مائلة إلى أسفل ، وهي أصغر حجماً وأقل شأنًا من الجذر الابتدائي ، ثم تتفرع الجذور الجانبية بدورها إلى فروع أصغر منها ، تمتد في كل اتجاه ، وتعرف بالجذيرات (Rootlets) ، وقد تتفرع الجذيرات أحياناً إلى فروع جذرية من الدرجة الثالثة أو ما دونها ، ويمتد هذا المجموع الجذري ويتشعب في أرجاء التربة ، وينتشر في حيز كبير منها ، حيث تلتصق شعيراته المجهرية الدقيقة بحبيبات التربة لتمتص منها الماء والأملاح .

(شكل ١)



الشكل الظاهري لنبات اللوزية : (أ) نبات اللوزية كاملاً . (ب) الزهرة كاملة .
(ج) الزهرة بعد نزع الكأس والتويج . (د) السداة . (هـ) المتاع . (و) الثمرة .
(ز) قطاع مستعرض في المبيض . (ح) قطاع طول في المبيض

أما المجموع الخضرى (Shoot system) فيتكون هو الآخر من محور رئيسى يمتد إلى أعلى على استقامة الجذر الابتدائى ، ويعرف بالساق ، وهو ينمو رأسياً فى اتجاه الضوء ، وفى عكس اتجاه الجاذبية الأرضية ، وساق الملوخية خضراء عشبية . قليلة الاحتمال لقلة ما بها من عناصر الخشب . وتتضخم الساق فى مواضع قليلة متعاقبة تعرف بالعقد (Nodes) ، تخرج عندها الأوراق ، فتخرج ورقة أو أكثر عند كل عقدة حسب نوع النبات . وفى نبات الملوخية بالذات ، تخرج ورقة واحدة عند كل عقدة . ويعرف الجزء من الساق الواقع بين عقدتين متتاليتين بالسلامى (Internode) ، ويلاحظ أن السلاميات المتعاقبة غير متساوية الطول إذ يقل طولها بالتدرج كلما قاربت القمة . ويعزى ذلك إلى حادثة سن الأجزاء الطرفية ، وعدم اكتمال نموها .

وأوراق الملوخية خضراء منبسطة ، متبادلة الترتيب على الساق . ويوجد فى الزاوية الحادة المحصورة بين الساق والسطح العلوى لقاعدة الورقة - أى فى إبط الورقة - جسم صغير يعرف بالبرعم الإبطى (Axillary bud) . وهناك برعم واحد لكل ورقة فى معظم النباتات ، وأكثر من ذلك فى بعضها ، وتنبت البراعم الإبطية ، إذا توفرت لها الظروف الملائمة ، لتعطى فروعاً جانبية أو إبطية (Lateral or axillary branches) .

وتتكون ورقة الملوخية من ثلاثة أجزاء متميزة هى : القاعدة (Base) والعنق (Petiole or stalk) والنصل (Blade or lamina) . أما القاعدة فهى الجزء الأسفل المتصل بالساق ، وهى عريضة ومنتفخة قليلاً فى معظم النباتات ، ووظيفتها تغطية البرعم وحمايته من المؤثرات الخارجية . وفى أوراق الملوخية توجد زائدتان رفيعتان على جانبي القاعدة ، تعرفان بالأذنين (Stipules) تزيدان فى تغطية البراعم ووقايتها ، وعددهما اثنتان دائماً ، وتوصف الأوراق ذات الأذنين بالموذنة (Stipulate) . والعنق طويل ورفيع فى أوراق الملوخية ، مستدير تقريباً فى القطاع المستعرض ، مع تقعر قليل بالسطح العلوى . وهو يصل ما بين الساق والنصل ، وتمر بداخله

العصارة المجهزة بالورقة والهابطة إلى الساق ثم الجذر ، والعصارة النيئة الصاعدة في الجذر إلى الساق ثم الورقة . ومن وظائفه أيضاً أنه يحمل النصل بعيداً عن الساق إلى موضع يصيب فيه حظاً أوفر من الضوء والهواء ، يجعله أقدر على تأدية وظائف التنفس والنتح والتمثيل .

والنصل هو الجزء الطرفي العريض المنبسط . وهو أكبر أجزاء الورقة وأهمها ، لأنه مختص بوظيفة البناء الضوئي التي يعتمد عليها النبات الأخضر في صنع غذائه العضوي ، كما يعتمد عليها الإنسان والحيوان بطريق غير مباشر . والنصل في أوراق الملوخية أخضر مدبب القمة ، منشاري الحافة ، إذ أن بحافته نتوءات صغيرة منتظمة كأسنان المنشار ، تتجه أطرافها المدببة نحو القمة . ويستطيل النتوءان السفليان ويمتدان كشعرتين على جانبي قاعدة النصل ، وتنتشر في أرجاء النصل شبكة متصلة من العروق ، تتكون من عرق ظاهر في الوسط - يعرف بالعرق الوسطي أو العير (Midrib) - يمتد بطول النصل على استقامة العنق ، ويبرز قليلاً على السطح السفلي مع تقعر قليل على السطح العلوي . وتخرج من هذا العير عروق جانبية (Lateral veins) أدق منه وأقل وضوحاً ، تتجه نحو حافة الورقة بميل قائل إلى أعلى . وتتفرع العروق بدورها إلى عريقات (veinules) تتجه وجهات مختلفة : وقد تتفرغ العريقات مرة أو أكثر ، ثم تلتقي في النهاية وتتشابك مكونة جهازاً توصيلياً ، وظيفته نقل العصارة من مختلف أجزاء الورقة وإليها . ويعرف نظام التعرق في أوراق الملوخية بالتعرق الشبكي (Reticulate venation) وهو النظام الشائع في ذوات الفلقتين .

وتحمل الساق أيضاً أزهاراً صغيرة صفراء (شكل ١ : ب) ، تتكون كل واحدة منها من أربعة أنواع من الأعضاء المنحورة هي : السبلات والبتلالات والأسدية (شكل ١ : ب ، ج ، د) والكرابل (شكل ١ : هـ ، س ، ح) . وتتكون الثمار (شكل ١ : و) من الأزهار بعد إخصابها ، وهي هنا مستقلة ، تباعج حجماً كبيراً عند تمام نضجها ، حيث تجف وتفتتح لتخرج منها البذور .

البَابُ الثَّالِثُ

البذور والانبات

تتكاثر النباتات الراقية أساماً بالبذور . والبذرة نبات جنيني صغير في حالة سكون ، لديه ما يحتاج إليه أثناء الإنبات من غذاء مدخر ، وتغلفه أغلفة تحميه من المؤثرات الخارجية . وتنتج البذرة من نبات بالغ سابق . وتبدأ منها حياة جيل جديد وتتكون البذرة من الجنين (Embryo) ، يحيط به غلاف يسمى القصرة (Testa) ، ومن قدر من الغذاء المدخر ، إما مخزنناً في بعض أجزاء الجنين ، أو منفصلاً عنه في نسيج خاص يغلفه ، ويعرف بالإندوسبرم (Endosperm) ، وتوصف البذرة في الحالة الأولى بأنها « لا إنندوسبرمية » (Exendospermic) وفي الثانية بأنها « إنندوسبرمية » (Endospermic) ، وفي البذرة اللانندوسبرمية يحدث الاختزان غالباً داخل أنسجة الفلقات . ولذلك تبدو هذه ضخمة متشحمة .

ويتكون الجنين من نفس الأعضاء الأساسية التي يتكون منها النبات البالغ ، وهي الجذر والساق والأوراق ، ولكن في صورة مصغرة غاية التصغير . ويسمى الجذر الجنيني جذيراً (Radicle) والساق الجنينية ريشة (Plumule) والأوراق الجنينية فلقات (Cotyledons) ، ويختلف عدد الفلقات في النباتات مغطاة البذور ، فهي واحدة في ذوات الفلقة الواحدة (Monocotyledons) وإثنتان في ذوات الفلقتين (Dicotyledons) أما في النباتات عاريات البذور فالعدد غير محدود ، إذ تحتوي بذور الصنوبر مثلاً على (٣ - ١٧) فلقة حسب الأنواع .

ويختلف حجم الجنين ودرجة وضوح أجزائه في بذور النباتات المختلفة ، فهو صغير جداً في بذرة البلح رغم كبر البذرة ، ولا يمكن تمييز أجزائه بالعين

المجردة . وفي بذرة الخروج الجافة يتعذر تبين الريشة من الجذير . وعلى النقيض من ذلك يلاحظ أن جنين الفول والفاصوليا كبير واضح ، متميز الأجزاء .

الشروط اللازمة للإنبات

لاستطيع البذور الإنبات إلا إذا توفرت لها شروط معينة ، أهمها ما يأتي :

١ - تمضية فترة سكون : أو سبات بعد نضج الثمرة ، تختلف طولا وقصرا باختلاف النباتات ، ولا توجد سوى قلة من النباتات - كالصفصاف - هي التي لا تحتاج إلى فترة سكون على الإطلاق . على أن البذور إذا تركت دون استنبات أمدا طويلا فقد تفقد الأجنة حيويتها ، وبالتالي قدرتها على النمو والإنبات . وتختلف بذور النباتات المختلفة من حيث المدة التي تستطيع أن تحتفظ فيها بحيويتها ، فبعض البذور تبقى كامنة فصلا أو بضعة فصول ، وبعضها تبقى سنة أو عدة سنين ، ثم تنبت بعد ذلك إذا توفرت لها شروط الإنبات الأخرى .

٢ - حيوية الجنين : يجب أن يكون الجنين حيا لكي تنبت البذرة . فالبذور المتعفنة ، أو التي ثقبها الحشرات وأكلت أجنحتها أو أثلفتها ، لا تستطيع الإنبات ، وكذلك البذور التي احترقت أجنحتها بالتأكسد البطيء لطول اختزانها ، ومن أمثلتها البذور التي وجدت في قبور الفراعنة ، إذا اخذت أمثال هذه البذور ذوات الأجنة الميتة ، ووفرت لها جميع شروط الإنبات الأخرى ، فإنها لا تنبت .

٣ - وفرة الماء : الماء ضروري للإنبات لأن التغيرات المختلفة التي تنطوي عليها هذه العملية لا تحدث إلا في وجود الماء ، والدليل على ذلك أن البذرة إذا تركت في تربة جافة فإنها لا تنبت ، أما إذا بللت التربة بالماء فإن الإنبات يحدث سريعا إذا توفرت بقية الشروط .

٤ - درجة حرارة ملائمة : لكل نوع من أنواع النبات درجة حرارة تلائم إنبات بذوره . فنباتات المناطق الباردة مثلا تنبت في درجات حرارة منخفضة ، أما نباتات المناطق الحارة فتنبت في درجات عالية ، ولكل نبات حدان من درجات الحرارة لا يستطيع بذوره الإنبات إلا بينهما . ويختلف

هذان الحدان والبعد بينهما باختلاف الأنواع . وتخضع سرعة الإنبات - في حدود معينة - لقانون « فانت هوف » (١) مثلها في ذلك كمثل التغيرات الفيزيائية والكيميائية ، فتزداد بارتفاع درجة الحرارة ، حتى إذا بلغ الارتفاع حداً معيناً (حوالى درجة ٤٠ مئوية) بدأ البروتوبلازم يضار بالحرارة ، فيقل نشاطه ، وبذلك تهبط سرعة الإنبات ، وإذا استمر ارتفاع درجة الحرارة أكثر من ذلك فإن البروتوبلازم يتجمد ، فتموت البذور ويتوقف الإنبات .

٥ - وفرة الأكسجين : الأكسجين لازم لتنفس البذور أثناء الإنبات ، إذ أن الجنين كائن حي يتنفس كما تنفس الأحياء . فإذا وضعت البذور في ماء سبق غليه لطرده ما به من أكسجين ذائب ، ثم برد الدرجة الحرارة العادية ، فلأنها لا تنبت ، وإذا شبت التربة أو غمرت بالماء المدرجة امتلاء فراغاتها به امتلاء تاماً - وحلوله فيها محل الهواء - كان ذلك عائقاً لإنبات البذور ، لأن الأجنة في تلك الحالة لا تجد الأكسجين اللازم لتنفسها .

وهناك عدا الشروط العامة سالفة الذكر شروط خاصة ، تقتصر على بعض النباتات دون البعض الآخر ، ومن أمثلتها أن بعض النباتات لا تستطيع الإنبات في الماء الصافي ، بل يتعين وجود نسبة من الأحماض أو القلويات المخففة لكي تنبت البذور ، وفي حالات أخرى يلزم تعريض البذور فترة من الزمان المدرجة حرارة مرتفعة نوعاً أو منخفضة نوعاً قبل استنباتها .

وقد لوحظ في بعض النباتات أن تعريض البذور لدرجة حرارة منخفضة - قبل زراعتها - يؤدي إلى تقصير دورة الحياة وزيادة المحصول ، ونعرف هذه الظاهرة بالارتباع ، (Vernalization) ، وتستغل اقتصادياً في بعض الدول لإنتاج محصول مبكر من بعض النباتات ، وخاصة الحبوب .

(١) يسبب ارتفاع درجة الحرارة زيادة سرعة العمليات الكيميائية والفيزيائية والفسولوجية . وقد وجد فانت هوف أن النسبة بين سرعة عملية ما عند درجة حرارة معينة وسرعتها عند درجة حرارة أقل منها بمقدار ١٠ درجات مئوية هي : (١.٣ - ١.٢) في العمليات الفيزيائية والفسولوجية ، و (٢ - ٣) في العمليات الكيميائية . وقد أطلق على هذه النسبة اسم : « المعامل الحرارى » (Temperature coefficient) .

وهناك أنواع من البذور تحتاج إلى التعرض للضوء قبل الإنبات ، على أن تنقل بعد ذلك إلى الظلام ، وأنواع أخرى تضار بالتعرض للضوء ، أما بذور الطفيليات الجذرية - مثل الهالرك - فلا تنبت إلا بجوار العائل .

التغيرات التي تطرأ على البذرة أثناء الإنبات

تطرأ على البذرة **هذه** إنباتها ثلاثة أنواع من التغيرات :

١ - تغيرات فيزيائية .

٢ - تغيرات كيميائية .

٣ - تغيرات أحيائية .

أما التغيرات الفيزيائية فتحدث في كل البذور عنا. نبتها في الماء أو وضعها في تربة رطبة ، سواء كانت تلك البذور حية أم ميتة ، وتشمل هذه التغيرات امتصاص البذرة للماء وانتفاخها وازدياد حجمها ، وما يتبع ذلك من زوال التجمعات التي بالقمصرة حتى تصبح للماء ، ثم تمزقها بعد ذلك نتيجة ازدياد الضغط عليها من الداخل .

وأما التغيرات الكيميائية فتتلخص في تحول المواد الغذائية المخزنة من صورة غير ذائبة إلى أخرى ذائبة ، حتى تستطيع بذلك أن تنفذ من خلال جدر الخلايا ليدمتصها الجنين ، فيتغذى ويكبر . ذلك لأن الأصل في اختزان المواد الغذائية - سواء في الفلقات أو في الإندوسبرم - أن تكون على صورة غير ذائبة ، فلدى يستفيد منها النبات النامي يلزم أن تتحول إلى الحالة الذائبة .

ويحدث التحول الغذائي بوساطة مواد خاصة - هي الإنزيمات (Enzymes) - تقوم بتكوينها المادة الحية في أنسجة الفلقات أو غيرها من أجزاء البذرة الحية ، تلك الأجزاء التي تنشط نشاطاً ملحوظاً بعد امتصاصها للماء .

وأهم المواد الغذائية المخزنة هي النشاء ، وهو يحتاج إلى إنزيم الدياستيز لكي يتحول إلى سكر ، والمواد البروتينية التي تحتاج إلى إنزيم البروتيز لكي

تتحول إلى أحماض أمينية ، والدهون والزيوت ، وتتحول إلى جلسرين وأحماض دهنية بفعل إنزيم الليباز ، والسليولوز الذى يتحول إلى سكر ثنائى بتأثير إنزيم السليوليز (Cellulase) ، أما نصف السليولوز فيتحول بإنزيم السيتيز إلى سكرات أحادية .

ويوجد النشاء فى الحبوب ، كالأذرة والقمح والشعير ، كما توجد المواد البروتينية فى بذور القرنيات ، كالفول والبرسيم والفاصوليا ، والزيوت فى بذور القطن والسمسم والخروع ، ونصف السليولوز فى البالح والدوم .

وأما التغيرات الأحيائية فهى أهم أنواع التغيرات جميعا ، ويسبقها دائماً النوعان الآخران ، وفيها تنشط الخلايا الإنشائية التى يتكون منها الجنين . فتتقسم ، ثم تزداد الخلايا الناتجة فى الحجم ، ونتيجة لهذا النمو تظهر الريشة فوق سطح الأرض ، ويضرب الجذير فى باطنها ، وبذلك تتحول البذرة إلى بادرة ، وتكبر البادرة وتكون أوراقا خضراء ، وتتحول بالتدريج إلى نبات مستقل ، يعتمد على نفسه فى تجهيز غذائه .

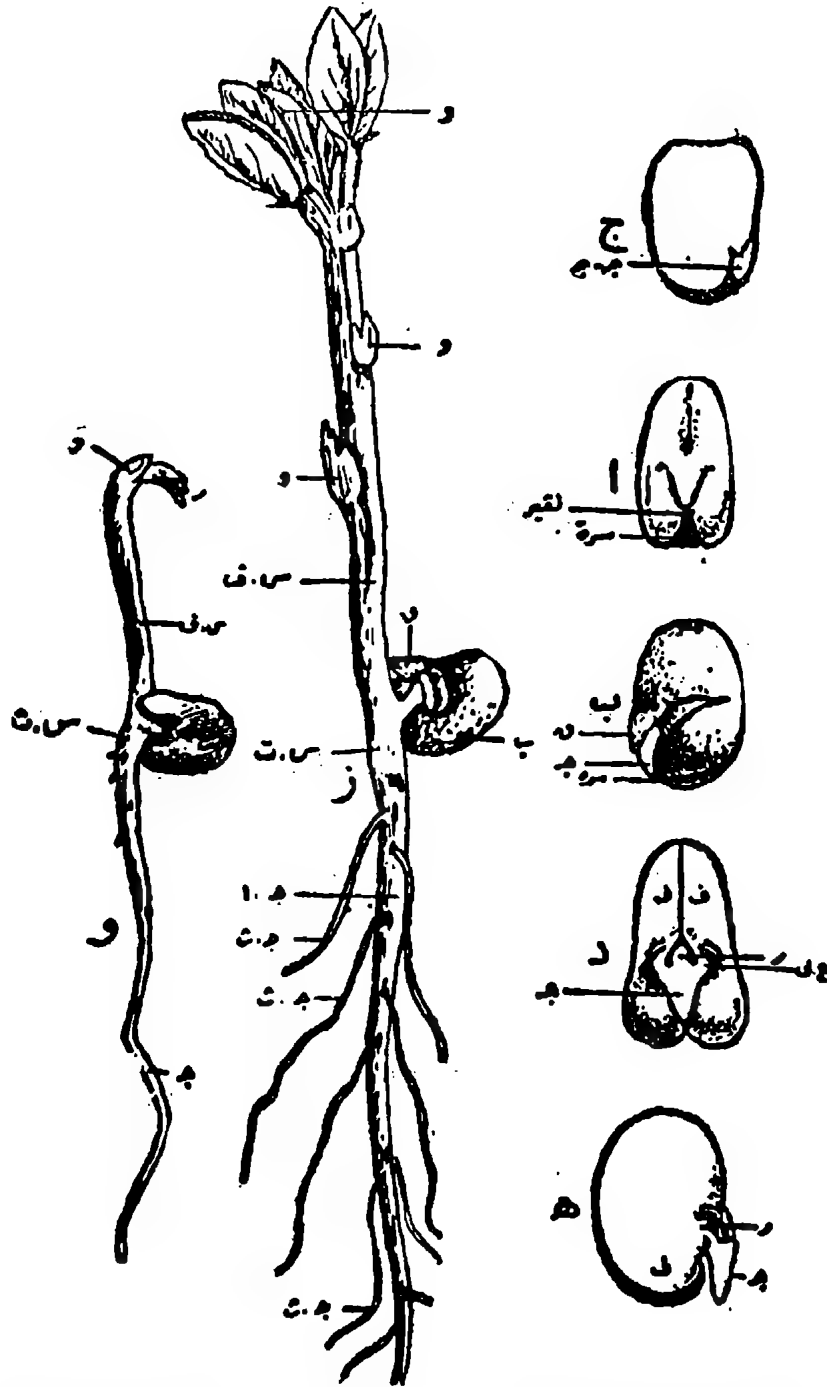
ولتوضيح طرق الإنبات وأدواره فى بذور النباتات المختلفة نضرب الأمثلة الآتية :

أولا - بذور ذوات الفلقين

١ - بذرة الفول (vicia fapa) :

بذرة الفول مستطيلة قليلا ومفلطحة ، لها وجهان عريضان وجانبان ضيقان ، وهى لا إندوسبرمية ، تتكون من جنين تحيط به قصرة جلدية ، وبأحد طرفيها ندبة سوداء مستطيلة ، تعرف بالسرة (Hilum) ، تحدد موضع اتصال البذرة بجدار الثمرة عن طريق الحبل السرى (Funicle) . ويوجد على أحد الجانبين الضيقين بقرب السرة انتفاخ مثلث الشكل ، يحدد موضع الجذير تحت القصرة (شكل ٢ : ١)

(شكل ٢)



بذرة الفول وأطوار انباتها : (أ) منظر جانبي لبذرة ، (ب) و (ج) منظران أماميان ،
 (د) منظر جانبي لبذرة متفجرة تخرج منها القصرة ، (هـ) منظر أمامي لبذرة متفجرة تخرج
 عنها القصرتها ، كما خرجت القلية الأمامية لإظهار الريشة ، (و-ز) طوران من أطوار الإنبات ،
 (ح) جذير ، (ط) جيب الجذير ، (ق) ريشة ، (ك) سويقة تحت القلية ، (ل) سويقة فوق القلية ،
 (م) عنق القلية ، (ن) قلية ، (س) جذور ثانوية ، (ع) جذور أولية .

إذا نقتع بذرة القمل الجافة في الماء وقتاً كافياً امتصته وانتفخت ، فزاد حجمها ، وأصبحت قصيرتها طرية ملساء يسهل نزعها . وإذا ضغطت البذرة المنقوعة بين السبابة والإبهام لوحظ خروج الماء من ثقب ضيق جداً في قمة الانتفاخ المثلث الدال على موضع الجذير ، يعرف بالنقير (Micropyle) شكل (٢ : ١) ، وهو يقع بين قمة الجذير وطرف السرة ، ولا يرى بالعين المجردة ، وإنما يستدل على موقعه بخروج الماء منه في البذرة المنقوعة ، وخروج فقاعات هوائية دقيقة إذا وضعت البذور الجافة في كأس به ماء ثم سخن ذلك الماء ، لأن الهواء الذي بداخل البذرة يتمدد بالحرارة فلا يجد له مخرجاً سوى ثقب النقير .

وإذا نزع القصرة عن البذرة المنقوعة انكشف الجنين ، وظهرت الفلقتان لحميتين مكتنزتين بالمواد الغذائية - وهي هنا مواد بروتينية ونشوية - وبينهما تحتجىء الريشة ، بينما يبقى الجذير ظاهراً خارجهما . ويلاحظ أن الجذير يستقر في نمد داخلي من القصرة ، يعرف بجيب الجذير (Radicle pouch) في قمته ثقب النقير (شكل ٢ : ج) .

وباستمرار انتفاخ البذرة المنقوعة تتمزق القصرة ، ويبدأ التمزق عادة فوق الجذير عند النقير (شكل ٢ : ب) ، والسبب في ذلك أن الجذير أكثر أعضاء الجنين امتصاصاً للماء ، لقربه من النقير ، وهو لذلك أكثرها انتفاخاً وضغطاً على القصرة . وبتمزق القصرة يبرز الجذير إلى الخارج ، وينمو في التربة بسرعة ، متجهاً إلى أسفل بتأثير الجاذبية الأرضية : ثم يستطيل عنقاً الفلقتين وينفرجان قليلاً فتتحرر الريشة من مكمنها بينهما (شكل ٢ : د ، هـ) وتبدأ في الاستطالة والخروج من البذرة . وتكون الريشة مقوسة في البادرة الصغيرة (شكل ٢ : و) بحيث تنحني قمتها النامية إلى أسفل ، فلا تتعرض للتمزق بسبب الاحتكاك بالتربة أثناء اختراقها لها ، ويستمر نمو الريشة حتى تبلغ سطح الأرض ، وعندئذ تبدأ ساقها في الاعتدال (شكل ٢ : ز) ، ويختفي الثقوس بالتدريج ، ثم لا تلبث أن تعطي أوراقاً خضراء ، وتتحول رويداً إلى مجموع خضري ، مكون من ساق وأوراق وبراعم إبطية وطرفية .

وتختلف الورقتان اللتان تكونهما البادرة في أول تكشفها ، وهما المعروفتان بالورقتين الأوليتين *Prophylls* (و - شكل ٢ : ز) ، عن الأوراق التي تتكون بعد ذلك ، إذ أنهما أصغر حجماً وأبسط تركيباً من الأوراق العادية لنبات الفول . كما أنهما جالستان غير مؤذنتين ، ذواتا قاعدتين عريضتين تلتفان حول جزء كبير من محيط الساق ، وحافة مشرشرة غير منتظمة . أما الأوراق العادية لنبات الفول فهي كبيرة مركبة ، ومؤذنة معتقة .

وتبقى الفلقتان تحت الأرض في حالة الفول ، ولذلك يسمى الإنبات أرضياً (*Hypogaeal*) ، ويفصل الجذير عن الفلقتين جزء من محور البادرة يعرف بالسويقة تحت الفلقية (*Hypocotyl*) (س . ت - شكل ٢ : ز) ، وهي تقع أسفل الفلقتين وتظل قصيرة في الفول وفي جميع حالات الإنبات الأرضي بوجه عام . أما جزء المحور الذي يقع فوق الفلقتين ، ويفصلهما عن الورقة الأولية السفلى ، فيسمى السويقة فوق الفلقية (*Epicotyl*) (س . ف - شكل ٢ : ز) .

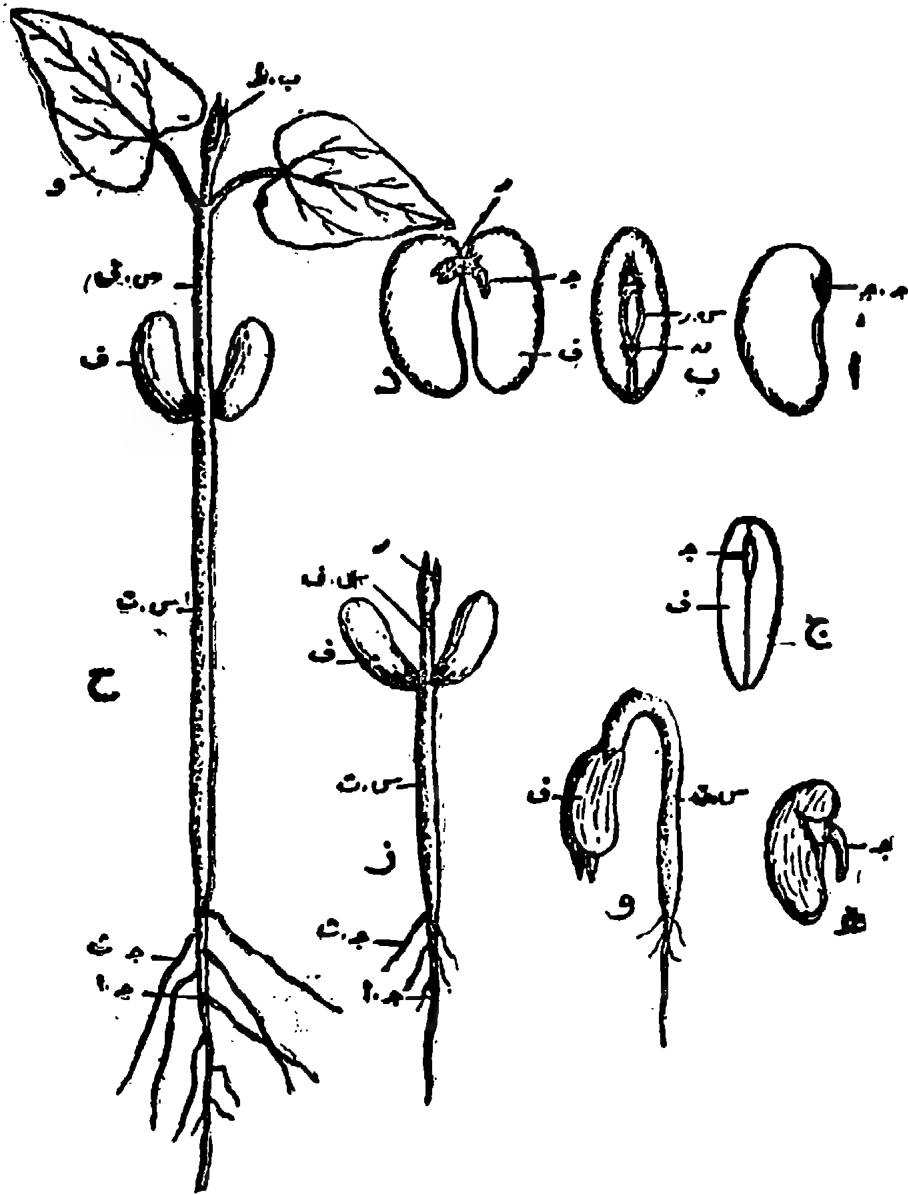
ويستفيد الغذاء المخزن في الفلقتين تدريجياً في تغذية الجنين أثناء الإنبات ، وينتهي بهما الأمر إلى الضمور والذبول عندما يصبح الجذر قادراً على الامتصاص والأوراق قادرة على التمثيل .

٢ - بذرة الفاصوليا (*Phaseolus vulgaris*) :

هي بذرة كلوية الشكل (شكل ٣ : أ) . بيضاء مغطاة بقشرة جلدية ، لها وجهان عريضان ، وجانبان ضيقان كبادة الفول ، وفي وسط أحد الجانبين الضيقين ندبة غير داكنة ، هي السرة (شكل ٣ : ب) ، وعند أحد طرفي السرة يوجد انتفاخ صغير مثلث الشكل يدل على موضع الجذير ، كما يوجد النقيير في رأس ذلك المثلث .

وإذا نقعت البذرة الجافة في الماء امتصته وانتفخت وزاد حجمها . وأصبحت ملساء ليثة : وزال ما بها من تجعدات . وإذا نرعت القصرة عن البذرة المتنوعة وجد الجنين وحده بداخلها ، مما يدل على أن البذرة « لا إندوسبرمية » ، ويتكون الجنين هنا - كما في الفول - من فلقتين متشحمتين

(شكل ٢) .

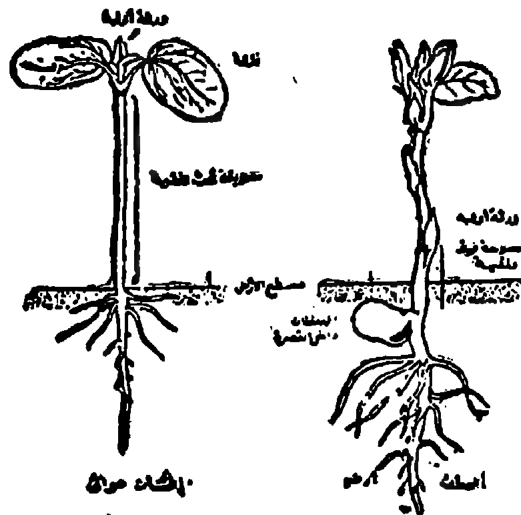


بذرة الفاصوليا وأطوار إنباتها . (ا) منظر أمامي للبذرة ، (ب) منظر جانبي ، (ج) منظر جانبي لبذرة منقوعة نزع عنها القشرة ، (د) بذرة منقوعة نزع عنها القشرة وانفجرت الفلقتان ، (هـ) الطور الأول في الإنبات وقد تمزقت القشرة فوق الجذير وبدأ الأخير في الخروج من البذرة والنمو إلى أسفل ، (و - ح) أدوار متعاقبة في الإنبات ، (ب . ط) برعم طرفي ، (ج) جذير ، (ج ا) جذير ابتدائي ، (ج . ت) جذير ثانوي ، (ج . ج) جيب الجذير ، (ر) ريشة ، (ح . ت) سويقة تحت فلقية ، (س . ر) سرة . (س . ف) سويقة فوق فلقية ، (ف) فلقية ، (ن) نقيع ، (و) ورقة .

لاختزانهما المواد الغذائية : وهى مراد بروتيذية ونشوية ، ومن ريشة صغيرة
مختبئة بين الفلقتين (شكل ٣ : د) وجذير رفيع مدبب الطرف خارجهما
(شكل ٣ : ج) . وتلتقى الريشة والجذير والفلقتان جميعا فى نقطة واحدة .

وإذا استنبتت البذرة تمزقت القصرة بالقرب من الجذير (شكل ٣ : هـ)
نتيجة لانتفاخ الجنين وضغطه عليها ، واستطال الجذير وامتد فى التربة إلى
أسفل ، ونمت السويقة تحت الفلقة سريعا إلى أعلى حاملة معها الفلقتين
والريشة (شكل ٣ : و) ، وتكون تلك السويقة فى أول الأمر منحنية إلى
أسفل فتحمى الريشة من الاحتكاك المباشر بحبيبات التربة ، ثم لاتبث الفلقتان
أن تظهرا فوق سطح الأرض ، وعندئذ تستقيم السويقة وتنفرج الفلقتان ،
فتعرض الريشة للضوء والهواء (شكل ٣ : ز) . وتضمر الفلقتان شيئا
فشيئا ، ثم لا تلبثان أن تسقطا بعد أن يكون قد استنفد كل ما بهما من غذاء
مدخر أثناء الأطوار الأولى للإنبات ، وفى الوقت نفسه تخضر الريشة وتكبر ،
وتتميز فيها الساق والأوراق الخضراء . وبذلك تتحول تدريجيا إلى مجموع
خضرى ، كما يتفرع الجذير ويستمر فى النمو تحت الأرض حتى يتحول إلى

(شكل ٤)



رسم توضيحي يبين الفرق بين الإنبات الأرضى والإنبات الهوائى من حيث موضع البذور
وطول السويقة تحت الفلقة

مجموع جذرى (شكل ٣ : ح) . ويسمى إنبات الفاصوليا هوائيا (Epigeal) لأن الفلقتين تظهران فى الهواء فوق سطح الأرض .

ويوضح (شكل ٤) الفرق بين الإنبات الأرضى والإنبات الهوائى

٣ - بذرة الترمس (*Lupinus termis*) :

تشبه بذرة الترمس فى شكلها بذرة الفول إلى حد ما ، سوى أنها أعرض وأكثر استدارة ، ويختفى نقيرها تحت نتوء من القصرة يغطى السرة (شكل ٥ : و) ، وهى بذرة لا إندوسبرمية ، ذات قصرة بيضاء جلدية متجعدة ، تزول تجعداتاها وتصبح ماساء طرية عندما تنقع فى الماء وتنتفخ .

وتوجد السرة فى أحد أركان البذرة ، ويختبئ الجذير - كما فى الفول - فى جيب داخلى من القصرة ، فى قته ثقب النقيير (شكل ٥ : ج) . وتمزق القصرة عند الإنبات بالقرب من الجذير (شكل ٥ : ب) وتنمو السويقة تحت الفلقية سريعا إلى أعلى ، حاملة الفلقتين فوق سطح الأرض (شكل ٥ : و) ، أى أن الإنبات هنا هوائى كما فى الفاصوليا .

وتخضر الفلقتان قليلا عندما تتعرضان للضوء ، وتنفرجان لتظهر الريشة ، ولكنهما لا تلبثان أن تضمرا وتسقطا ، وتحول الريشة بالتدرج إلى مجموع خضرى ، مكون من ساق وأوراق راحية مركبة ، فى كل ورقة خمس وريقات ، ومن براعم لبطية وطرفية ، كما يتحول الجذير بالتدرج إلى مجموع جذرى ، يتغلغل فى الأرض ويتفرع (شكل ٥ : ز) .

٤ - بذرة الخروع (*Ricinus communis*) :

بذرة الخروع بيضية مستطيلة نوعا ، وتنتهى فى أحد طرفيها بانتفاخ إسفنجى أبيض . يسمى البسياسة (Caruncle) ، يخفى تحته السرة والنقيير (شكل ٦ : أ) ، والبسياسة تمثل تضخما فى قاعدة الحبل السرى ، الذى يوصل البذرة بالمشيمة (Placenta) على السطح الداخلى لجدار الثمرة .

والقصرة رقيقة سهلة الكسر ، بنية اللون مزركشة ، إذا نزع وتجد بداخلها جسم أبيض ، مغطى بغشاء رقيق يعرف بالشغاف (Tegmen) ، وبداخل الشغاف يوجد الإندوسبرم ، وهو نسيج ثخين يغلف الجنين ، ويخزن به زيت الخروع المعروف وكذلك المواد البروتينية ، كغذاء مدخر يعتمد عليه الجنين أثناء الإنبات ، فبذرة الخروع إذن بذرة إندوسبرمية .

وإذا قطت البذرة بعد تقشيرها قطعاً طويلاً منصفاً ، وموازياً للسطحين العريضين ، أمكن رؤية الجنين . وهو يتكون كما في (شكل ٦ : ب) من فلتين غشائيتين ، بهما تعرق واضح ، يحيط بهما الإندوسبرم من الخارج ، ويفصلهما فراغ ، كما يشاهد في قطاع مستعرض (شكل ٦ : ج) . وتتصل الفلتان عند الطرف القريب من البساسة بالجذير والريشة ، وهما هنا صغيران غاية الصغر (وخاصة الريشة) . وتقع قمة الجذير — وهو هنا جسم مخروطي صغير أبيض — تحت البساسة مباشرة .

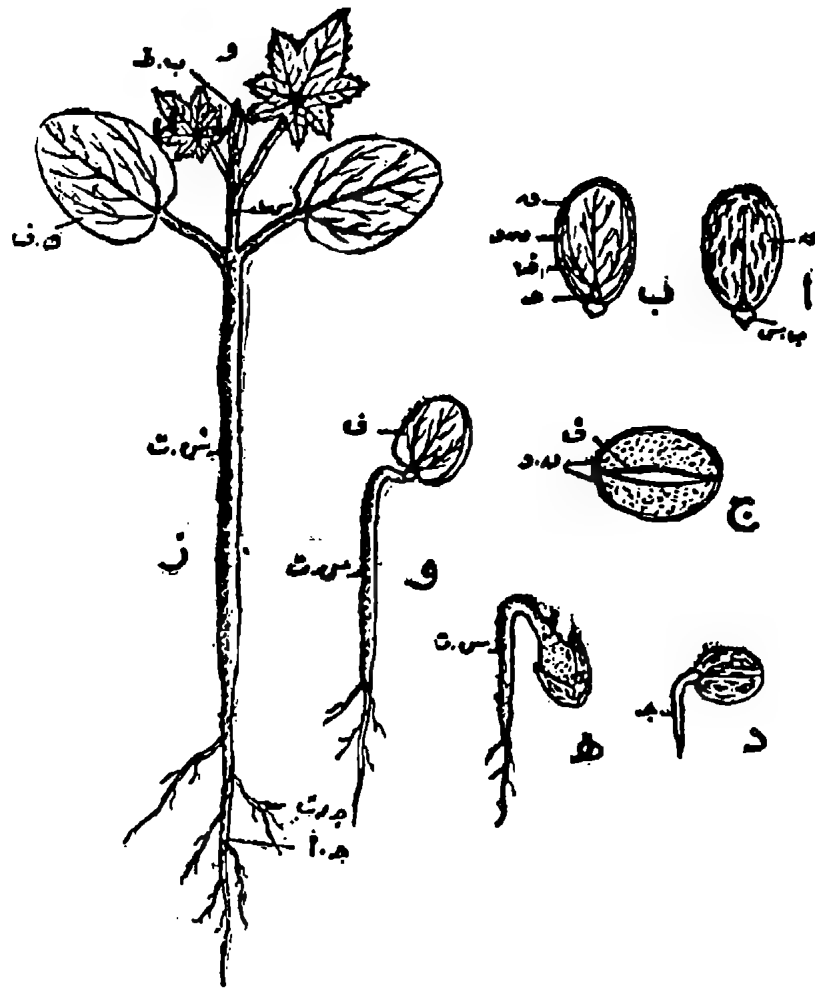
وعندما تستنبت بذرة الخروع تمتص البساسة الماء وتنقله إلى الجنين والإندوسبرم ، فيكبران وينفخان ، ويضغطان على القصرة حتى تنكسر ، ويخرج منها الجذير متجهاً إلى أسفل (شكل ٦ : د) ، ثم يعقب ذلك نمو السويقة تحت الفلقية واستطالتها وتقوسها (شكل ٦ : هـ) ، وتعلق الفلتان — ومن خارجهما الإندوسبرم وما يغلفه من بقايا القصرة — بطرف السويقة (شكل ٦ : هـ ، و) ، ونسحبان خلفها أثناء نموها إلى أعلى تجاه سطح الأرض .

وتظهر بقية البذرة في النهاية فوق الأرض — أى أن الإنبات هنا هوائي — وتستقيم السويقة ، ثم تنفض الفلتان عنهما بقايا الإندوسبرم والقصرة ، وتفرجان لتعرضا سطحيهما للضوء والهواء ، فتخضران وتكبران ، وتقومان بدور هام في عملية التمثيل ، وتعرفان حينئذ بالورقتين الفلقتين (Cotyledonary leaves) (شكل ٦ : ز) ، وتبقيان على النبات مدة طويلة ، وفي ذلك تختلفان عن فلتات البذور السابقة (اللاإندوسبرمية) ، كالقول والفاصوليا ، التي تقتصر وظيفتها على اختزان المواد الغذائية وتزويد الجنين بها فحسب .

وتستمد الفلقتان غذاءهما أثناء الإنبات من الإندوسبرم الملاصق لهما ، إذ يمتص الإندوسبرم الماء من التربة ، ومن ثم تنشط الأنزيمات ، فتحلل المواد الغذائية المدخرة إلى مواد بسيطة ذاتية يمتصها الجنين النامي .

ويتأخر نمو الريشة بعض الشيء في حالة الخروج وغيره من حالات البذور الإندوسبرمية ، ولكنها تكبر في النهاية ، وتحول بالتدريج إلى مجموع خضري مكون من ساق وبراعم وأوراق مفصصة ، وفي الوقت نفسه ينمو الجذير إلى مجموع جذري كامل .

(شكل ٦)

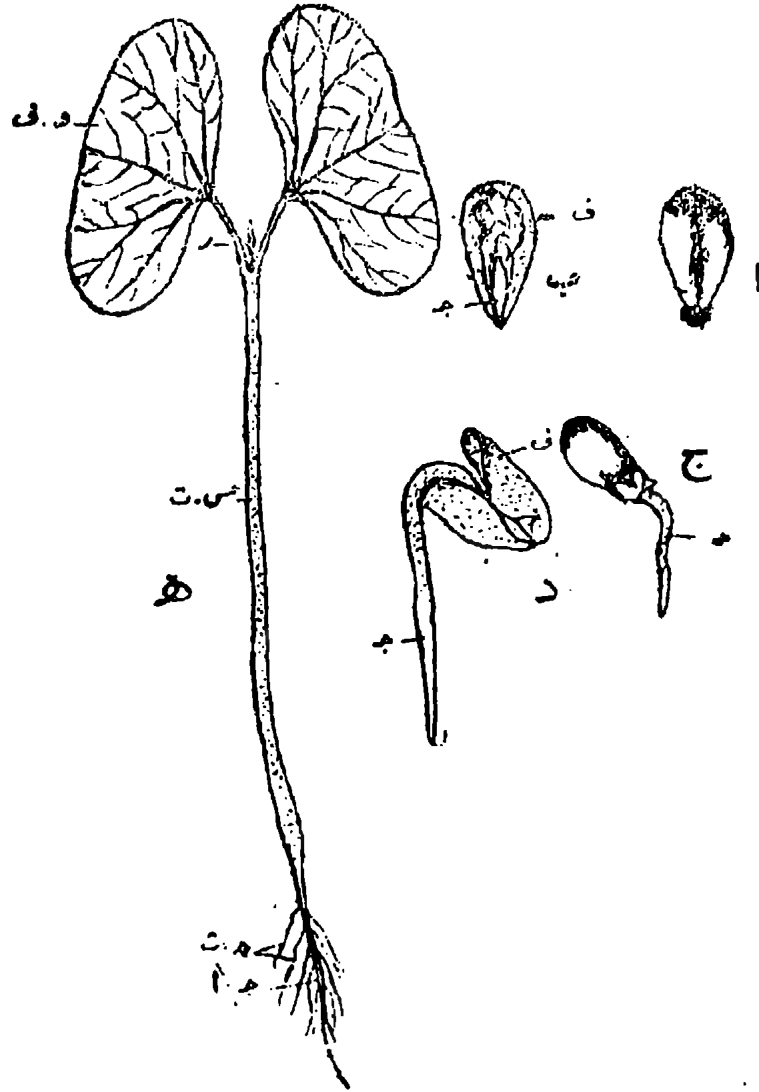


بنوة الخروج وأطوار إنباتها : (أ) منظر سطح البذرة ، (ب) أطاع طول فيها موانع
السطح الدريش ، (ج) أطاع مسمش في البذرة ، (د - ز) أطوار الإنبات المختلفة .
(ب . س) بيبيانية ، (ب . ط) برعم طرقي ، (ج) جذير ، (ج . أ) جذر ابتدائي ، (ب . ج)
جذر ثانوي ، (س . ت) سويقة تحت ناقية ، (س . ف) سويقة فوق ناقية ، (ف) ناقية ،
(ق) لقمة ، (ن . د) إندوسبرم ، (و) ورة ، (و . ف) ورة ناقية .

٥ - بذرة القطن (*Gossypium barbadense*) :

بذرة القطن الجافة بنية اللون داكنة ، مخروطية الشكل (شكل ٧ : ١) ،
تغطي سطحها شعور بيضاء غزيرة ، هي ألياف القطن المعروفة ، وهي تمثل
امتدادات طويلة أنبوبية لخلايا بشرة القصرة ، ويوجد النقيير في طرف البذرة
المدبب . وتمتد السرة بثلاث طول البذرة من جهة النقيير .

(شكل ٧)



بذرة القطن وأطوار إنباتها : (١) منظر خارجي للبذرة ، (ب) أطراف طولية قنبها ،
(ج - هـ) أطوار الإنبات المختلفة ، (ج) جذير ، (د - هـ) جذير ابتدائي ، (ز) جذير
جذر ثانوي ، (و) ريشة ، (س.ت) سويقة تحت قاعدية ، (ب) فاقية ، (د.ف) ورقة ظلفية .
(م ٩٣ - النيات)

وإذا نزعنا القصرة نجد الجنين بداخلها ، مغلفا بغشاء رقيق أبيض ، هو بقايا الإندوسبرم . وتمتلئ البذور الناضجة امتلاء تاما بالجنين ، فيها عدا ذلك الغشاء الإندوسبرمي الرقيق ، وتعتبر بذرة القطن إندوسبرمية في الأطوار المبكرة من تكونها ، لأنها تحتوى إذ ذاك على إندوسبرم ظاهر وغنى بالمواد الغذائية ، غير أن معظم هذا الإندوسبرم يستنفد بعد ذلك في تغذية الجنين . ويتم استهلاكه قبل أن تنضج البذرة وتدخل في طور السكون ، فلا يبقى منه في البذرة الناضجة غير ذلك الغشاء الرقيق الذى سبق ذكره ، والذى يعرف أحيانا بالشغاف . وفي ذلك تختلف بذرة القطن عن بذور النباتات الأخرى التى يظل جنينها صغيرا وغذاؤها مدخرا لا يستعمل إلا وقت الإنبات .

وجنين القطن (شكل ٧ : ب) كبير نسبياً إذا قورن بأجنة النباتات الأخرى . فالفلقتان رقيقتان ، وسطحهما كبير ، ولذلك تلتفان داخل البذرة لفات عديدة ، وتتغضنان لكثرة الالتفاف والتضاغط في حيز ضيق ، أما الجذير فكبير نسبياً ويقع في الطرف القريب من النقيع ، وتحتوى جميع أعضاء الجنين خلايا زيتية ، بها زيت بذرة القطن المعروف ، الذى يمثل الغذاء المدخر في البذرة ، ويستدل على وجوده بضغط بذرة مقشرة على قطعة من الورق وملاحظة تكون بقع زيتية عليها .

ويعتبر إنبات بذرة القطن هوائياً ، لأن الفلقتين تظهران فوق سطح الأرض ، نتيجة لاستطالة السويقة تحت الفلقية (شكل ٧ : ج ، د ، هـ) . وتنشئ تلك السويقة في أطوار الإنبات الأولى (شكل ٧ : ج ، د) ، ثم تستقيم بعد بلوغها سطح الأرض (شكل ٧ : هـ) ، وتنفرج الفلقتان لإظهار الريشة وتعرضها للضوء والهواء ، ثم تواصل الريشة والجذير نموهما ، لتكون الأولى المجموع الخضري ، ويكون الثانى المجموع الجذري للنبات . والأوراق الفلقية في القطن عريضة خضراء كلوية الشكل ، تقوم بعملية البناء الضوئى . كفلفات الخروج ، ويمكن مشاهدة بقع داكنة على الفلقتين والسويقة تحت الفلقية .

ثانياً - بذور ذوات الفلقة الواحدة

حبة الذرة (Zea mays) :

تعتبر حبة الذرة ثمرة كاملة من نوع البرة ، التحمت فيها القصرة التحاماً تاماً بجدار الثمرة ، وهى عريضة مفلطحة ، أحد طرفيها مدبب ، تتصل عنده الحبة بالقولحة . والطرف الآخر مستدير ، توجد بوسطة على أحد الوجهين ندبة دقيقة بارزة هى بقايا القلم الذى جف وضم . وفى وسط السطح العريض يوجد منخفض بيضى الشكل يحدد موضع الجنين ، ويغطيه غشاء رقيق ، هو غلاف الحبة الذى يمثل القصرة وجدار الثمرة الملتحمن (شكل ٨ : أ) .

وإذا نقعت الحبة فى الماء امتصته فلانث وانتفخت وزاد حجمها . وإذا نصفت الحبة المنقوعة طولياً فى مستوى عمودى على السطح العريض - ومار بمنصف المنخفض البيضى - ظهرت أجزاؤها على السطح المقطوع ، وأمكن فحصها ودراستها (شكل ٨ : ج) .

وحبة الذرة إندوسبرمية ، يملأ الإندوسبرم جانباً كبيراً منها ، بعضه نشوى أبيض يعرف بالأندوسبرم الدقيقى (Mealy endosperm) ، والبعض الآخر زلالى شفاف عديم اللون شديد الصلابة فى الحبة الجافة ويعرف بالإندوسبرم القرنى (Horny endosperm) . ويشغل الجنين الجزء الداخلى القريب من الطرف المدبب ويتكون من ريشة وجذير ، كل منهما داخل غمد خاص به ، ومن فلقة واحدة تعرف بالقصعة (Scutellum) ، تمتد ملاصقة للإندوسبرم عند الجانب الداخلى للريشة والجذير .

ويتصل بالجنين عند موضع اتصال الريشة بالجذير نتوء صغير يمكن تحت الغلاف ، ويمثل أصل الجذور العرضية فى الجنين .

وتفرز القصعة فى الحبة المستنبئة إنزيمات تحلل الغذاء المدخر فى الإندوسبرم وتحيله إلى حالة ذائبة تجعله قابلاً للانتشار ، فيمتصه الجنين وينمو ، ويتحول إلى بادرة .

ويخرج منه الجذير نفسه ، ويواصل نموه مكونا الجذر الابتدائي كما تمتد الريشة إلى أعلى داخل غمدها ، ويساعد طرف الغمد الحاد المدبب على اختراق التربة حتى تظهر الريشة فوق سطح الأرض دون أن يصيبها أى تمزق . وتعتمد الريشة والجذير فى نموها على الغذاء الذى يمتصانه من الحبة . وتظل الأخيرة تحت سطح الأرض حتى ينفد ما بها من غذاء مخزى ، فتضمصر وتجنف . فإنبات حبة الذرة إذن إنبات أراضى .

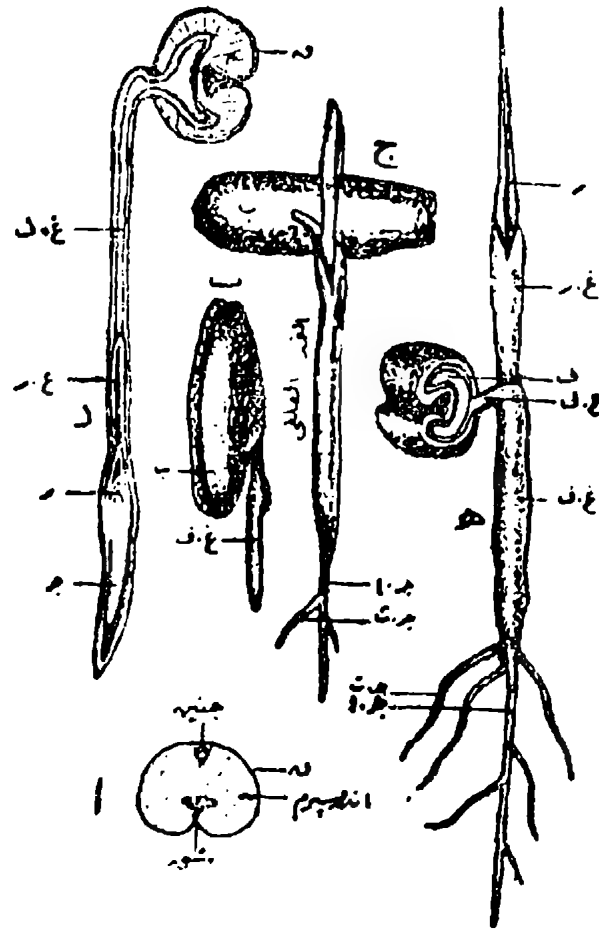
وباستمرار نمو البادرة يتفرع الجذر الابتدائي ليعطى جذوراً ثانوية وجذيرات تتغلغل فى التربة ، كما تظهر على التوالى جذور عرضية ، تنشأ من الجنين عند موضع اتصال الريشة بالجذير ، وتنمو أسرع مما ينمو الجذر الابتدائي الناشئ من الجذير نفسه ، ولا تلبث أن تحل محله مكونة المجموع الجذرى لنبات الذرة ، وهو مكون من عدد من الجذور اللبية أو الخيطية ، تكاد تتساوى فى الغلظ والطول ، كذلك تتحول الريشة بالتدريج إلى مجموع خضرى تتميز فيه الساق والأوراق (شكل ٨ : ج) ، والأخيرة ذات أنصال ضيقة مستطيلة ، متوازية التعرق ، وأعماد مغلقة للساق . وتشبه حبة القمح فى إنباتها حبة الذرة إلى حد كبير .

٧ - بذرة البلح (Phoenix dactylifera) :

بذرة البلح مستطيلة ، مغطاة بقصرة بنية داكنة ، أحد سطحيها محدب ، والآخر به شق طولى بداخله بقايا أغلفة جافة (شكل ٩ : أ) . وعلى السطح المحدب - فى ثلث طول البذرة تقريبا - توجد بقعة منخفضة قليلا ، صغيرة ومستديرة ، تحدد موضع الجنين .

وإذا قطعت البذرة الجافة قطعاً مستعرضاً ماراً بموضع الجنين - وفحص السطح المقطوع - شوهد الجنين كجسم أبيض دقيقى ، ملامس للقصرة ، يحيط به إندوسبرم قرئى من مادة صلبة نصف شفافة ، تشغل البذرة جميعها ، عدا حيز ضئيل لا يكاد يذكر ، يشغله الجنين ، ويتكون الإندوسبرم من مواد نصف سليلوزية (Hemicellulose) . ولا يمكن فى البذرة الجافة تمييز أجزاء الجنين بالعين المجردة لصغرها :

(شكل ٩)



بذرة البلح وأطوار نباتاتها . (١) أطوار مستعرضة لبذرة البلح ، (ب - هـ) أطوار الإنبات المختلفة . (ب) بذرة ، (جـ) جذير ، (جـ ١) جذير ابتدائي ، (جـ ٢) حفر ناتوي ، (ر) ريشة ، (ع) عنق الفلقة ، (ع ١) عمدة الريشة ، (ع ٢) عمدة الفلقة ، (ف) فلاة ، (ف ١) لصرة .

وعندما تستنبت البذرة ، تمتص الماء ، فيفرز الجنين إنزيمات تحال الإنفوسبرم من حوله ، ثم يمتصه في حالة ذائبة فيكبر ، وتظهر أجزاؤه بوضوح ويستغرق إنبات بذرة البلح وقتاً أطول مما يستغرقه إنبات البذور الأخرى التي سبق وصفها .

ويكبر الجنين بالتدريج على حساب الإنفوسبرم ، ويخرج منه جزء إلى خارج البذرة - يعرف بعمدة الفلقة (Cotyledonary sheath) (شكل ٩ : ب-هـ) - يحتوي الريشة داخل عمدها ، وكذلك الجذير ، ويغلفهما تغليفاً تاماً . ويظل

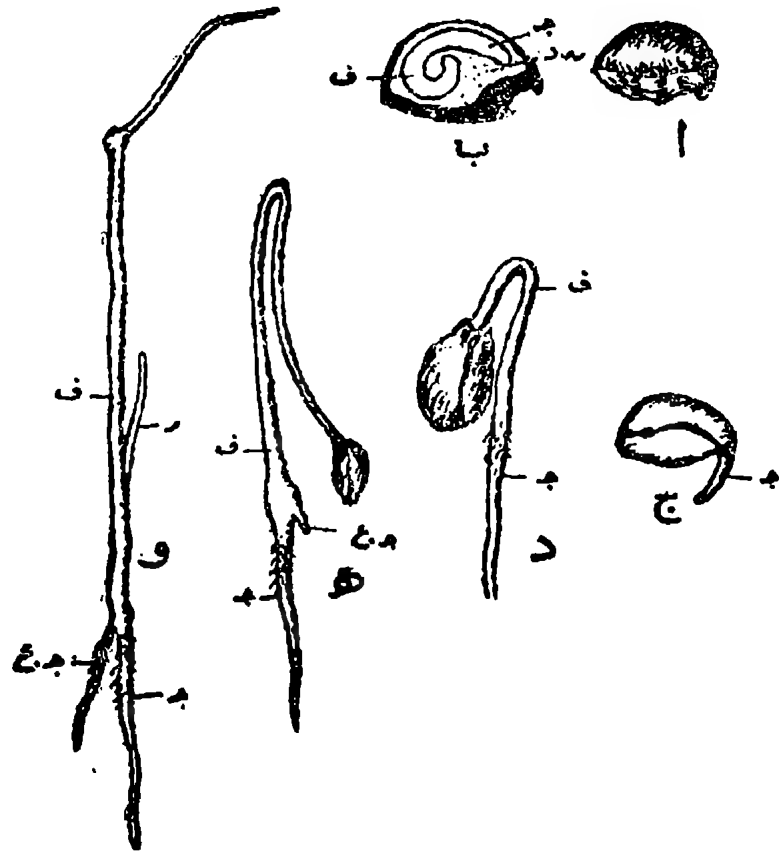
جزء من الفلقة داخل البذرة ويعرف بالجزء الماص (Absorbing part) ، ويتخذ شكلا هلاليا (شكل ٩ : ب - هـ) . ووظيفة هذا الجزء إفراز الإنزيمات وإذابة الإندوسبرم ثم امتصاصه وتوصيله إلى بقية أجزاء الجنين . ويتصل الجزء الماص بالغمدة الخارجى بوساطة عنق قصير ، يسمى عنق الفلقة (Cotyledonary stalk) (شكل ٩ : هـ) ، ويكبر الجزء الماص بالتدرج على حساب الغذاء المختزن حتى يشغل جميع فراغ البذرة .

وباستمرار الإنبات ينمو الجذير إلى أسفل ، مكونا جنرا ابتداءً ، تخرج منه جذور ثانوية صغيرة وجذيرات ، وذلك هو المجموع الجذرى . أما الريشة فتتجه إلى أعلى - وهى ما تزال فى غمدها - مخترقة غمد الفلقة بعد تمزيقه ، ثم يتبع ذلك تمزق غمد الريشة وظهور الورقة الخوصية الأولى (شكل ٩ : هـ) . وبذلك تتحول الريشة بالتدرج إلى مجموع خضرى . ويلاحظ أن إنبات البلح أرضى ، لأن البذرة تبقى باستمرار تحت سطح الأرض . ولا تلبث المادة الغذائية التى بها أن تنفذ ، مما يؤدى إلى ضمورها وجفافها .

٨ - بذرة البصل (Allium cepa)

بذرة البصل صغيرة سوداء غير منتظمة ، توجد بأحد أركانها ندبة غائرة تمثل السرة (شكل ١٠ : ١) . وعندما تنقع البذرة فى الماء تمتصه وتنتفخ وتصبح لينة ، فإذا قطعت طوليا فى وسطها لوحظ أن قصرتها السوداء تغلف كتلة من الإندوسبرم ، يستقر فى وسطها الجنين (شكل ١٠ : ب) . والجنين هنا ملتو مستطيل ، مدبب الطرفين . وجزؤه القريب من السرة يمثل الجذير ، أما الجزء البعيد فيمثل الفلقة وبداخلها الريشة . وتلتقى أجزاء الجنين الثلاثة فى موضع واحد ، أقرب إلى الطرف الذى به السرة منه إلى الطرف الآخر . ويحتوى الريشة على عدد من الأوراق البرعية الجوفاء ، يغلف بعضها بعضاً .

(شكل ١٠)



بفرة البصل وأطوار إنباتها : (١) الشكل الخارجى للبفرة ، (ب) قطاع طولى فى بذرة
منقوعة ، (ج - و) أطوار الإنبات المتعاقبة : (ج) جذير . (ج . ح) جذير معرض ، (ر)
بريدة ، (ف) نائلة ، (ن) إنسوسيرم .

وعندما تستنبت البذرة ، يكون الجذير أسبق الأعضاء إلى إمتصاص
الماء والنمو ، وتوذى إستطالته إلى إختراقه القصرة عند السرة ، والبروز
خارج البذرة (شكل ١٠ : ج) « وتلى الفلقة الجذير فى الظهور . وتستطيل
بسرعة حتى يصل طولها إلى بضعة سنتيمترات ، وتبدو خضراء اسطوانية .
والفلقة هنا غمدية وتغلف الريشة فى أطوار الإنبات المبكرة ، وتبدو
منحنية فى أول الأمر (شكل ١٠ : و) ، تخرجها بقايا البذرة أثناء نموها
إلى أعلى تجاه سطح الأرض . ويؤدى طرف الفلقة - الذى يبقى داخل
البذرة - وظيفة الامتصاص إذ يفرز الإنزيمات التى تذيب الأندوسبرم ،

ثم يمتصه في حالته الذائبة ، وينقله إلى باقى أجزاء الجنين . وبعد نفاد الغذاء المحتزن . يذبل طرف الفلقة الماص ، وينفصل عن غلاف البذرة الفارغة .

وتستقيم الفلقة المنحنية بعد أن تبلغ سطح الأرض (شكل ١٠ : و) ، وقد تحمل معها بقايا الغلاف البذرى الذى يظل عالقا بطرفها الهوائى فترة من الزمن ، ثم ينفصل عنها ويسقط ، ويحدث ذلك عادة إذا كانت التربة خفيفة متفككة ، أما إذا كانت طينية ثقيلة فإن الغلاف البذرى يبقى تحت الأرض حتى يذبل طرف الفلقة وينفصل عنها . وتعتبر الفلقة أولى الأوراق الخضراء التى ينتجها النبات ، ولذلك يعد الإنبات هنا هوائياً .

ويلاحظ وجود تضخم في قاعدة الفلقة عند موضع اتصالها بالجذير ، ويعزى هذا التضخم إلى وجود الريشة داخل الجزء القاعدى للفلقة الغمدية . وفوق هذا الجزء بمسافة قصيرة يوجد شق ضيق تخرج منه الريشة عندما تتقدم البادرة في النمو . وتكون الريشة في بدء ظهورها ممثلة بورقة واحدة خضراء لا تلبث أن تتلوها بسرعة أوراق أخرى : ويتم ظهور الأوراق المتعاقبة بالترتيب حيث تخرج كل ورقة من شق صغير في أحد جوانب الورقة التى سبقتها .

ويتكون الجذر الابتدائى من الجذير ، ولكنه لا يعمر طويلا ، إذ سرعان ما تنمو من قاعدة الساق جذور عرضية لتحل محله (شكل ١٠ : و) ، كما هو الحال في الذرة والقمح ، وغيرهما من النباتات ذوات الفلقة الواحدة .

الباب الرابع

الجذر

علمنا من الباب السابق أن أصل المجموع الجذري في البذرة هو الجذر ، لأنه يكون المحور الرئيسي لذلك المجموع ، الذي يعرف بالجذر الابتدائي ، كما رأينا أيضاً أنه في نباتي النرة والقمح - وغيرهما من نباتات ذوات الفلقة الواحدة - لا يستمر نمو الجذر الابتدائي طويلاً ، بل يتوقف بعد فترة وجيزة ، وتخرج من قاعدة الساق الجنينية جذور إضافية ، تعرف بالجذور العرضية (Adventitious roots) ، تنمو بسرعة لتحل محل الجذر الابتدائي وفروعه ، مكونة المجموع الجذري المستديم ..

الوظائف الأساسية للجذر

يقوم الجذر في النباتات الراقية ، أساساً ، بالوظائف الآتية :

١ - تثبيت النبات في التربة : يتغلغل الجذر الرئيسي عمودياً في أغوار التربة ، وتضرب فروعه الجانبية مائلة في كل اتجاه ، وتلتصق الجذور وشعراؤها التصاقاً وثيقاً بمجبيات الأرض ، ويتشعب المجموع الجذري في حين كبير منها ، فيساعد كل ذلك على تدعيم النبات وتثبيته .

٢ - امتصاص الماء والأملاح الذائبة : يحدث الامتصاص بوساطة الشعيرات الجذرية وخلايا الطبقة الوربية في منطقة الامتصاص .

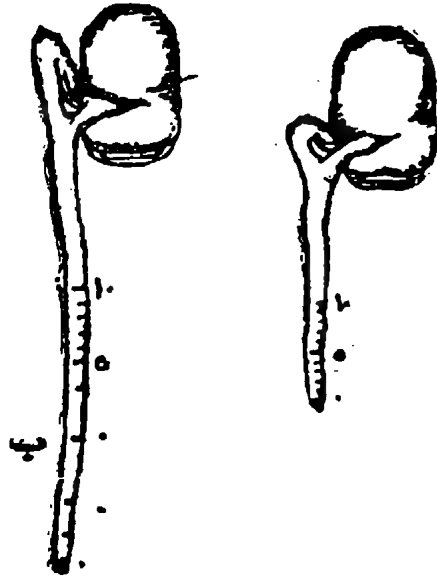
٣ - اختزان الغذاء المدخر : ويحدث ذلك في حالات خاصة ، كما في جذور البطاطا والداليا واللفت والبنجر والفجل والجزر وما إليها من الجذور المتفخمة المتضخمة .

مناطق الجذر

إذا فحصنا جذير بادرة صغيرة من بادرات الفول أو الذرة ، لاحظنا وجود منطقة نمو (Growing region) في قمته ، مكونة من خلايا إنشائية رقيقة ، تنقسم بنشاط لتعطي خلايا جديدة باستمرار . وتغطي هذه القمة النامية قلنسوة (Calyptra) تحفظها من التمزق أثناء تغلغل الجذير في التربة . ومنطقة النمو هذه لا تقتصر على الجذير وحده ، بل توجد أيضاً في أطراف الجذور البالغة ، سواء منها الجذور الأصلية والفرعية ، ويتمزق السطح الخارجي للقلنسوة بالتدريج ويصير لزجا ، مما يساعد على انسيابه بسهولة بين حبيبات التربة . ويعوض ما يتمزق من خلايا السطح الخارجي بخلايا جديدة : تضيفها القمة النامية إلى القلنسوة من الداخل ، وبذلك يظل سمك القلنسوة ثابتاً .

وتلى القمة النامية بالجذر منطقة أخرى تعرف بمنطقة الاستطالة (Zone of elongation) ، فيها تسطيل الخلايا الجديدة المتكونة في القمة ، ولإثبات حدوث الاستطالة في هذه المنطقة دون غيرها تجري التجربة البسيطة الآتية : ترسم على سطح جذير معتدل خطوط أفقية متوازية بالحبر الصيني على أبعاد متساوية . واتسكن مليمتر واحد مثلاً ، ويبدأ بالتقسيم من طرف الجذير (شكل ١١ : أ) ، ويتابع حتى بداية الشعيرات الجذرية . تثبت البادرة بعد ذلك في قرص من الفلين أو قطعة من الخشب بدبوس يمر بالفلقتين ، بحيث يتجه الجذير عمودياً إلى أسفل . ثم يوضع قرص الفلين أو قطعة الخشب في مخبار يحتوي على قليل من الماء . وتبطن جوانبه الداخلية بورق نشاف لشبع بالماء . ويغطي المخبار ويحفظ في مكان مظلم دافئ لمدة يومين ، ثم يفحص الجذير بعد ذلك ، فيلاحظ أن المسافات التي بين الخطوط المرسومة على سطحه لم تبق ثابتة بل زاد بعضها زيادة ملحوظة ، فالمنطقة التي تباعدت فيها العلامات تحدد منطقة الاستطالة . ويلاحظ أن تباعد الخطوط — وهو يعبر عن سرعة النمو في الطول — أكبر ما يكون في وسط هذه المنطقة ، ويقل بالتدريج كلما اقتربنا من طرفها (شكل ١١ : ب) .

وتلي منطقة الاستطالة منطقة أخرى تعرف بمنطقة الامتصاص (Absorbing zone) ، وفيها يتغطى سطح الجذر بشعيرات بيضاء تعرف بالشعيرات الجذرية (Root hairs) ، ولا يبدأ خروجها من الجذر إلا بعد أن تنتهي منطقة الاستطالة ، وبذلك لا يتغير موضعها في التربة ، فلا تتمزق بالاحتكاك. والشعيرات زوائد أنبوبية رقيقة الجدار ، تمثل امتدادات من خلايا الطبقة الوبرية ، تشق طريقها في التربة وتلتصق بحبيباتها التصاقاً وثيقاً .



تجربة لتحديد منطقة الاستطالة في جذور الفول (١) البادرة عند بدء التجربة ، (ب) البادرة في نهاية التجربة .

لتمتص الماء من الأغشية المغلفة لهذه الحبيبات بما فيه من أملاح ومواد ذائبة ، وتغطي الشعيرات منطقة من الجذر محدودة الطول ثابتة البعد عن القمة النامية ، ويعزى ثبوت بعدها عن تلك القمة إلى كون الشعيرات محدودة العمر تؤدي وظيفتها ابضعة أيام ثم تجف ، ويحدث ذلك بصفة مستمرة في النهاية الخلفية للمنطقة وتتكون شعيرات في الناحية الأمامية لتعويض الشعيرات القديمة المذوية . فعملية الامتصاص مقصورة إذن

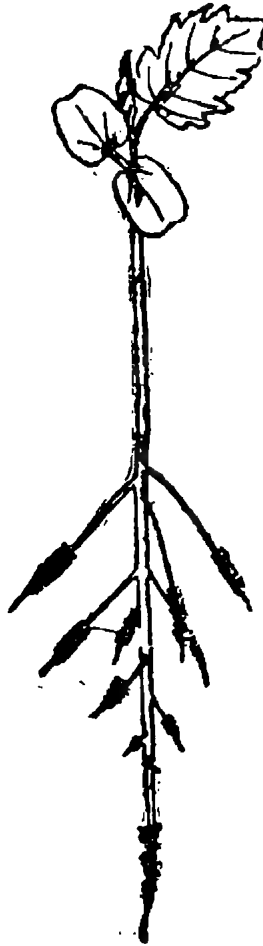
على منطقة الشعيرات ، وتترك خلايا الطبقة الوبرية التي لم تتسوبر بعد في تلك المنطقة بنصيب في هذه العملية. بيد أن ما تمتصه قليل لصغر سطحها الملامس للتربة ، إذا قورن بما تمتصه الشعيرات بسطحها الكبير .

وتوجد منطقة الإمتصاص في الجذر الأصلي والجذور الجانبية على السواء (شكل ١٢) ، ولذلك فباستمرار النمو وبقاء الشعيرات على بعد ثابت من القمة النامية يستمر انتقال منطقة الإمتصاص بأكملها إلى أرجاء جديدة من التربة .

ثم تأتي منطقة جرداء خلف منطقة الإمتصاص ، ومن خلفها منطقة الجذور الجانبية (Zone of lateral roots) ، وتخرج الأخيرة عادة من الأنسجة الداخلية للجذر الأصلي ، كما يتضح ذلك من قطاع طولي منصف. ومما تجدر ملاحظته أن أصغر الجذور الجانبية أقربها إلى القمة (شكل ١٢) ، وأن تلك الجذور لا تتفرع من الجذر الابتدائي وحده ، ولكن من فروعها أيضاً .

وتتكرر هذه المناطق جميعها : القلنسوة والقمة النامية ومنطقتنا

(شكل ١٢)



مناطق الجذور في بادرة نبات زهرى ، يخرج من الجذر الأصل عدد من الجذور الجانبية التي تظهر عليها الشعيرات الجذرية بالقرب من القمة

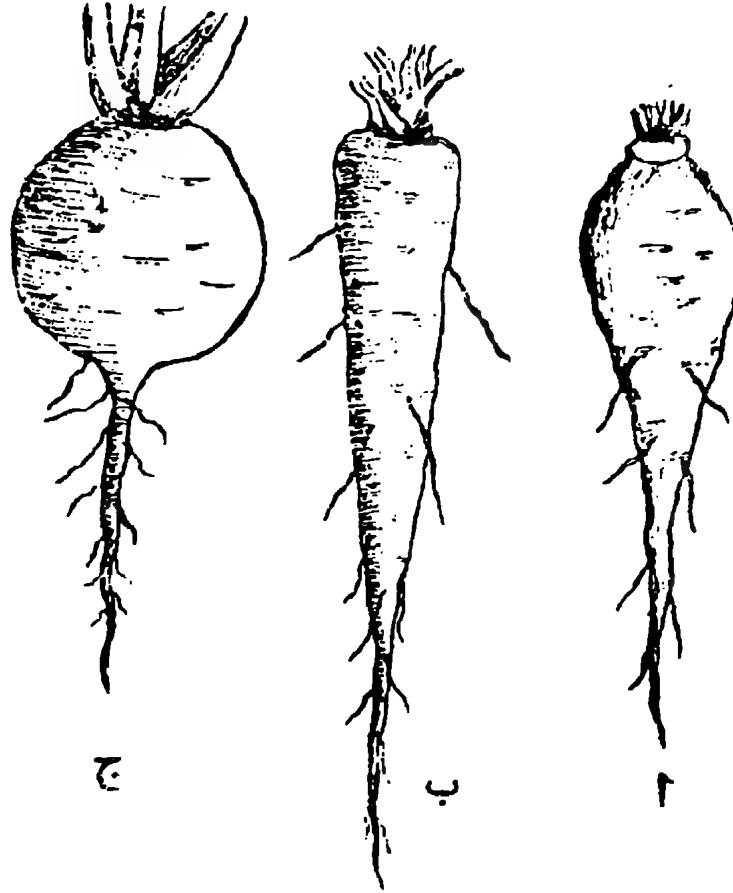
الاستطالة والشعيرات والمنطقة الجرداء ومنطقة الجذور الثانوية ، بالترتيب المتقدم في جميع فروع المجموع الجذري ، من الجذر الابتدائي إلى أدق الجذيرات .

الجذور الوتدية

تنقسم الجذور إلى وتدية (Tap roots) وعرضية (Adventitious roots) . وينشأ المجموع الجذري الوتدى عادة من الجذر ، ويتميز بمحور رئيسي يعرف بالجذر الابتدائي (Primary root) ، تخرج منه جذور جانبية وجذيرات أقل منه شأنًا . وهذا النوع من المجموع الجذري هو السائد بين نباتات ذوات الفلقتين ، كالقطن والحرع والملوخية .

وفي بعض النباتات ذات المجموع الجذري الوتدي يخزن الغذاء في الجذر الابتدائي فيتشحم وينتفخ ، ويتخذ أشكالاً مختلفة (شكل ١٣) ، فيكون تارة مغزلي الشكل (Fusiform) كما في الفجل ، وتارة مخروطي الشكل (Conical) كما في الجزر ، وأحياناً منكوراً أو لفتياً (Napiform) كما في اللفت .

(شكل ١٣)



أنواع الجذور الوتدية المخزنية: (١) جذر الفجل ، (ب) جذر الجزر ، (ج) جذر اللفت

الجذور العرضية

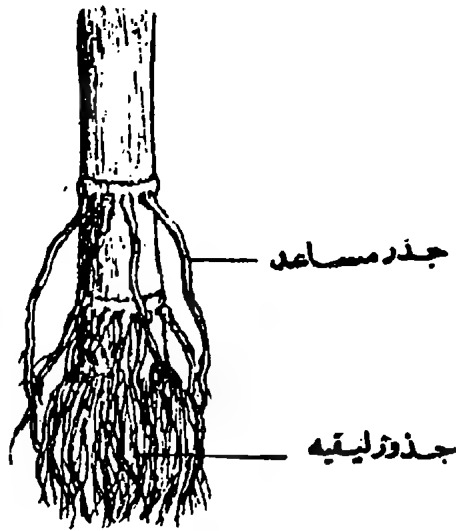
الجذور العرضية هي التي لا تنشأ من الجذر وفروعه ، ولو أن لبعض أنواعها أصلاً في الجنين . كالجذور العرضية في الذرة والقمح والشعير ، وما إليها ، حيث تنشأ من قاعدة الساق الجنينية . بيد أن غالبية الأنواع تتكون على أعضاء بالغة ، كالأجزاء الأرضية من العقل التي تستعمل في

التكاثر الخضرى ، والعقل كما هو معروف قطع من الساق تحمل براعم .
وتخرج أيضاً من قواعد السوق الهوائية ، ومن أجزائها العليا أحياناً ، كما
أنها تتكون على السوق الأرضية بأنواعها ، وعلى الأوراق فى بعض
الأحيان . وقد تتحول الجذور العرضية فى بعض النباتات لتؤدى أغراضاً
خاصة .

وأهم أنواع الجذور العرضية هى :

١ - الجذور الليفية (Fibrous roots) - وتعرف أحياناً بالجذور
الخيطة - لأنها رفيعة كالخيوط ، وتكثر فى النباتات ذوات الفلقة الواحدة
كالذرة والقمح والنخيل (شكل ٣٥) ، وتنشأ مبكرة أحياناً لتحل محل الجذر
الابتدائى ، الذى يتوقف عن النمو وهو صغير . كما تتكون أيضاً على السوق
الأرضية ، كالأبصال والريزومات وما إليها ، وعلى السوق الهوائية المادة
والجارية كسوق النعناع والشليك .

(شكل ١٤)

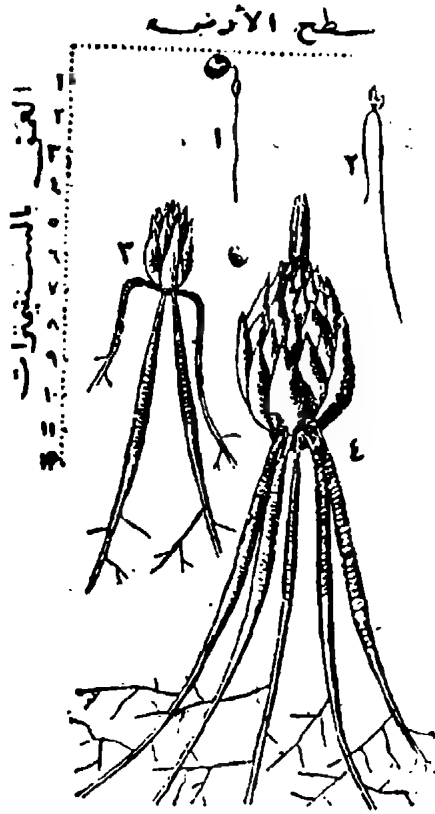


٢ - الجذور المساعدة (Prop roots)

(roots) : وتخرج من العقد
السفلى القريبة من سطح الأرض ،
على سيقان بعض النباتات القائمة
الرفيعة غير المتفرعة كسيقان الذرة
وقصب السكر (شكل ١٤) .
وتتجه هذه الجذور مائلة إلى أسفل ،
حتى إذ بلغت سطح الأرض
أخترقته ، وتفرعت فى باطن الأرض
وانتشرت كما تنتشر الجذور
العادية ، فهى لذلك تساعد على

تدعيم النبات وتثبيتته فى الأرض ، وحفظه قائماً برغم العواصف وغيرها من
المؤثرات الجوية المختلفة ، كما أن أجزاءها الأرضية تقوم أيضاً بوظيفة
الاقتصاص .

٣ - الجذور الشاذة (Contractile roots) : وهي جذور متقلصة ، توجد في بعض أنواع النباتات ، في أسفل الكورمات والأبصال ، وتستطيع بتقلصها أن تشد النبات إلى أسفل ، فتثبت بالكورمة أو البصلة إلى المستوى الطبيعي الملائم ، إن كانت البذور قد غرست في مستوى مرتفع قريب من سطح الأرض. وبفضل هذه الجذور تظل الساق الأرضية المختزنة دائماً على بعد ملائم من سطح الأرض (شكل ١٥) يزيد في تدعيمها وتأمين أجزائها الهوائية ضد عوادي الرياح .



الجذور العادة لنبات الزنبق
(*Lilium martagon*) و مختلف
مراحل تكويناها ، وبلاحظ اتصالها بقاعدة
البصلة وشدها لها شداً يبطئ عنواها من
النبات البالغ كثيراً عن المستوى الذي زرعت
عنده البذور بالقرب من سطح الأرض

٤ - الجذور الهوائية (Aerial roots) : وهي جذور تمتد في الهواء وتستطيع أن تمتص منه بخار الماء قبل أن تبلغ سطح الأرض ، ومن أمثلتها جذور التين البنغالي (*Ficus bengalensis*) ، وجذور الأراشيد (*Orchids*) تعيش معلقة على أفرع الأشجار العالية بالغابات ، وتغلف الجذور الهوائية لهذه الأراشيد بنسيج خاص إيجروسكوبي ، وظيفته امتصاص البخار من الهواء المحيط به .

٥ - الجذور الدعامية (Pillar roots) : وتوجد في بعض الأشجار الضخمة كأشجار التين البنغالي سالفة الذكر ، وتنشأ هذه الجذور هوائية في أول الأمر ، ثم تتدلى حتى تبلغ الأرض فتخترقها وتتفرع فيها وتنتشر ، وتغلظ أجزاء هذه الجذور التي فوق الأرض وتتخشب ، فتعمل

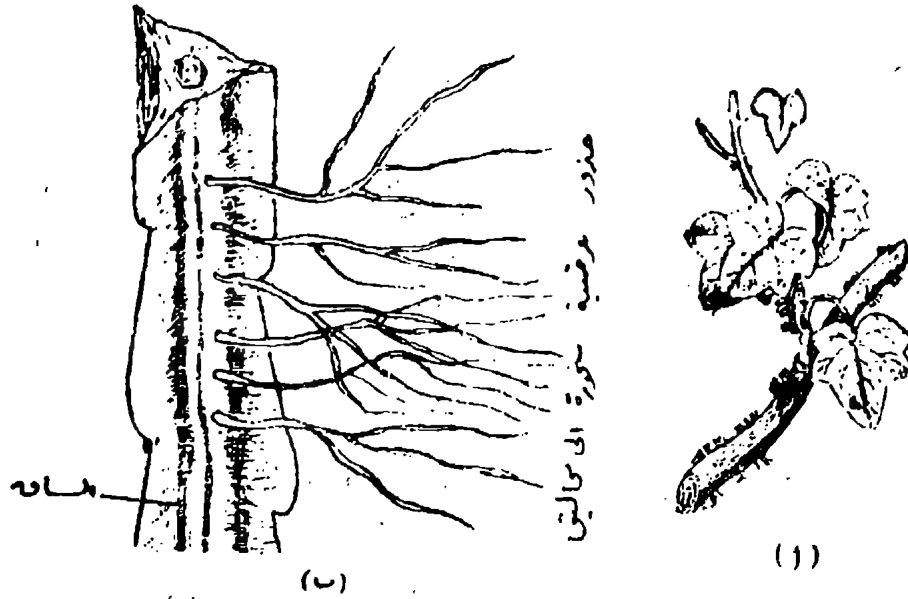
بذلك على حمل الأفرع الهوائية . وفي الأشجار المسنة يوجد عدد كبير من هذه الدعامات الجذرية حول جذع الشجرة ، تلتحم أحياناً مع الجذع ، ومع بعضها البعض فتبدو كأنها من بعض أجزاء الجذع نفسه .

٦ - الجذور التنفسية (Respiratory roots) : توجد هذه الجذور في النباتات التي تعيش في مستنقعات طينية رخوة ، حيث التربة رديئة التهوية ومشبعة بالماء وغنية بالبقايا النباتية المتحللة . في مثل هذه التربة ترتفع نسبة ثاني أكسيد الكربون الناشئ عن تحلل المواد العضوية ، ولا تجد جذور النباتات الراقية كفايتها من الأكسجين اللازم لتنفسها . ومن أمثلة هذه النباتات نبات « ابن سينا » أو « الشورة » (*Avicennia marina*) ، وهو شجيرات تعيش في بعض جزر البحر الأحمر قرب الغردقة ، وتخرج من أجزاء النبات السفلى - المغمورة في الطين - جذور عرضية تنفسية تنبثق من جذور أفقية تمتد مسافات طويلة تحت سطح الأرض مباشرة ، وتنتجه إلى أعلى بدل اتجاهها إلى أسفل ، وتحتوي أنسجتها الداخلية فراغات هوائية واسعة ، كما تنتشر على سطحها عديسات كثيرة ، وظيفتها توصيل الهواء الجوى بالفراغات الهوائية التي تتخلل أنسجة الجذور الداخلية ، وبذلك يستطيع الجذر أن يتنفس الهواء الجوى مباشرة .

والتربة الطينية في هذه المستنقعات سائبة ، يغوص فيها بكل جسمه من يسوقه سوء طالعهِ إلى اقتحامها ، ثم تثقل عليه حتى لا يستطيع منها فكاًكاً . ولهذا فقد عرفت تلك البيئة النباتية منذ زمن طويل باسم مقابر الإنسان (Mangroves) ، وهي منتشرة في كثير من بقاع العالم ، وكم أودت بحياة الكثيرين من الرحالة .

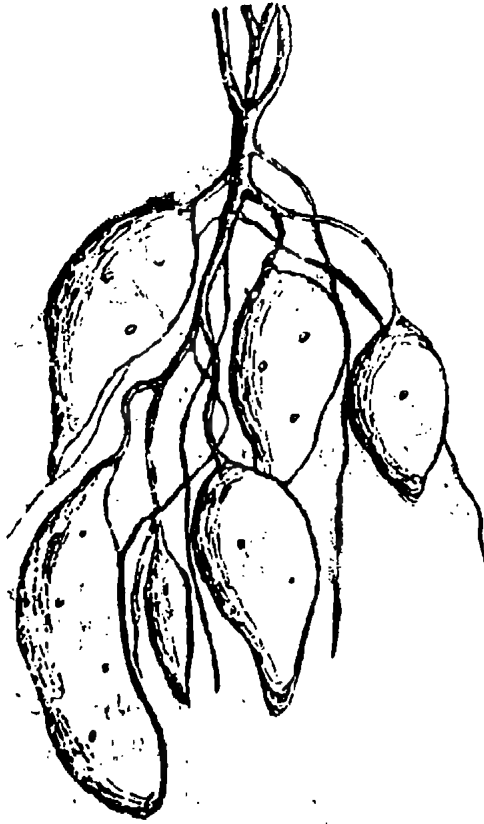
٧ - الجذور التسلقية أو المعاليق الجذرية : (Climbing roots or root tendrils) وهي جذور عرضية ، تخرج من سيقان بعض النباتات المائتقة ، مثل نبات حبل المساكين (*Hedera helix*) (شكل ١٦ أ) أو المتسلقة مثل نبات الشمع (*Cereus*) (شكل ١٦ ب) ، وهو أحد نباتات الزينة المتشحمة . تحترق هذه الجذور التسلقية الدعامية أو الحائط فتعمل بذلك على تثبيت السيقان بها ، وبذلك يستمر صعود النبات إلى أعلى . والملاحظ عادة أن هذه الجذور التسلقية تخرج من جانب الساق المواجه للدعامات .

(شكل ١٦)



الجدور اللبابة لنبات جبل الساكين (١) ونبات الشمع (٢)

(شكل ١٧)



الجدور الدرنية لنبات البطاطا

٨ - الجدور الدرنية

(Tuberous roots) : وهي

جدور عرضية متشعبة ،

تخزن فيها المواد الغذائية التي

يعتمد عليها النبات في بعض

أدوار حياته ، ومن أمثلتها

درنات البطاطا (*Ipomoea*)

(*officinalis*) (شكل ١٧)

ودرنات كشمك الماز

(*Asparagus officinalis*) ،

والداليا (*Dahlia variabilis*) ،

والأصل في المجموع الجذري

لكثير من هذه النباتات أنه

عرضي لين ، تشعبت بعض

جذوره في أجزاء منها مكونة

هذه الدرناات ويخزن فيها

المواد الغذائية ، وتقوم الجذور

الدرنية أحياناً - كما في البطاطا - بوظيفة التكاثر الخضرى ، فتنبت إذا زرعت ، معتمدة على الغذاء المدخر ، لتعطي نباتات جديدة .

٩ - الممصات (Haustoria) : وهى جذور تخرج من سيقان وجذور بعض النباتات المتطفلة كالحامول (Cuscuta) ، والهاوك (Orobanche) (شكل ١٨)

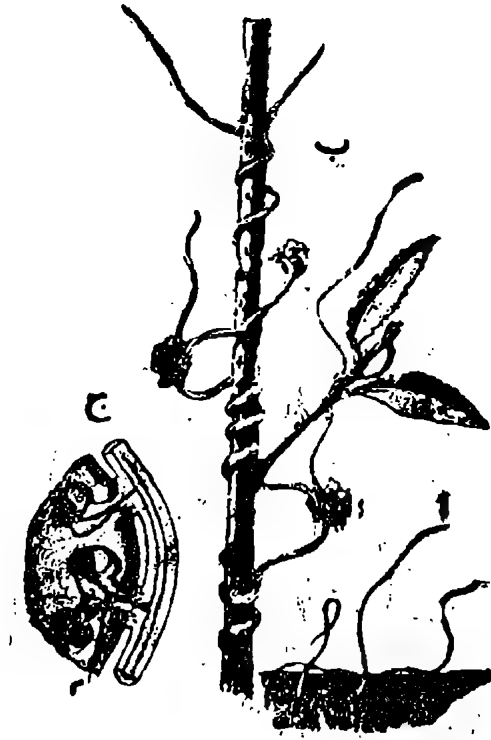
(شكل ١٩)



نبات هاوك حوصر متطفل على الفول ، ونرى جذور الهاوك وهى تحيط بجذور الفول ذوات القمم البكتيرية

١٨ و ١٩) وتخرق أنسجة العائل حتى تبلغ الحزم الوعائية ، فتمتص منها الماء والغذاء المحضر ، كما تمتص أيضاً المادة الحية من خلايا الأنسجة الأخرى فتنقلها إلى بقية أجزاء النبات المتطفل الذى يتغذى عليها ويبادر إلى إنتاج أزهاره وثماره ، ويتكاثر الحامول على سيقان البرسيم وغيره من النباتات ، كما يتطفل الهاوك على جذر الفول

(شكل ١٨)



نبات الحامول ؛ (١) يادرات الحامول ، (ب) نبات الحامول المتطفل على ساق البرسيم ، (ج) قطاع مستعرض من ساق الحامول وساق العائل ، (م) يبرز من ساق الحامول ويخرق العائل ليدخل بأوعية الخشب والحاء

البسات الخاضعين

الساق

الساق هي المحور الرئيسي للمجموع الخضري ، وتنشأ عادة من الريشة ، إذ باستمرار نمو البادرة تتحول الريشة إلى مجموع خضري يعرف محوره بالساق .

وتحمل الساق زوائد منبسطة خضراء هي الأوراق ، ويسمى الموضع الذي تخرج منه الورقة عقدة (Node) ، كما يعرف الجزء الذي يقع بين عقدتين متتاليتين بالسلاحي (Internode) .

البراعم

يوجد برعم في إبط كل ورقة ، يعرف بالبرعم الإبطي أو الجانبي (Axillary or lateral bud) ، كما يوجد برعم في طرف الساق يعرف بالبرعم الطرفي أو القمي (Terminal or apical bud) . ويؤدي نشاط البرعم الطرفي إلى زيادة موسمية في طول الساق الأصلية ، أما نشاط البرعم الإبطي فيؤدي إلى تكوين فرع جانبي ، وقد يكون ذلك الفرع نورة أو زهرة ، كما أن البرعم الطرفي قد يعطي هو الآخر نورة أو زهرة في بعض النباتات ، بعد فترة من النمو الخضري . (شكل ٢٠)



نصف كرنبة وقد قطعت قطعا طويلا
بمصفى ونظر إليها من السطح المقطوع .

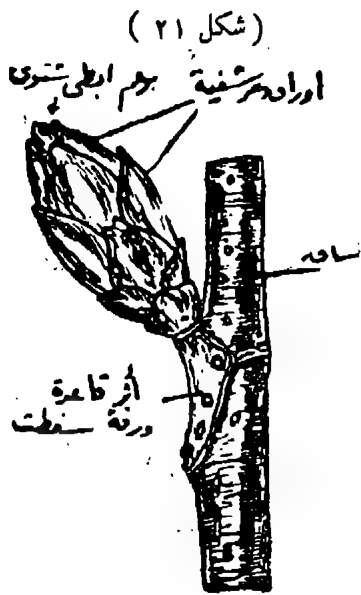
ويمثل الكرنب (شكل ٢٠)
برعماً ضخماً ، تجعدت فيه الأوراق
البرعمية الصغيرة والتفت حول بعضها
البعض لفات عديدة ، مغلفة طرف
الساق . ويلاحظ وجود براعم إبطية
في آباط الأوراق البرعمية الملتفة .
أما الكرنبة نفسها فتتمثل البرعم
الطرفي للنبات .

ويتكون كل برعم من منطقة نمو إنشائية ، تحميها وتغلفها أوراق صغيرة برعمية ، وهناك نوعان من البراعم :

١ - براعم صيفية (Summer buds) : أوراقها البرعمية من نوع واحد ، وكلها خوصية خضراء ، ولكنها صغيرة السن والحجم وتغلف القمة النامية تغليفاً غير محكم ، لا يمنع إتصالها بالهواء الخارجي وتأثرها بالموثرات الجوية إلى حد ما . وتنمو هذه الأوراق الصغيرة بنمو البرعم لتعطي الأوراق البالغة الخضراء . ومن أمثلة البراعم الصيفية براعم النباتات دائمة الخضرة ، كالدورانتا (*Duranta*) والياسمين الزفر (*Clerodendron*) . وهما من نباتات الأسوار .

٢ - براعم شتوية (Winter buds) : وتعرف أيضاً بالبراعم الحرشفية (*Scaly buds*) ، ويتكون في فصل الشتاء في بعض النباتات ، كالتوت (*Morus*) والخور (*Populus*) وغيرهما من الأشجار التي تنفض أوراقها في الخريف والشتاء (شكل ٢١) لرداءة الجو ، وتظل براعمها كامنة في ذلك الوقت من العام . وتحمل البراعم الشتوية نوعين من الأوراق : أوراقاً برعمية خضراء عادية تلتف حول القمة النامية التفافاً محكماً ، وأوراقاً حرشفية سميكة تغطي هذه الأوراق الداخلية الرقيقة ، وتزيد في وقاية البرعم من العوامل الجوية ، كالبرد والصقيع والجفاف ، وتفرز الأوراق البرعمية أحياناً أصماغاً ومواد راتنجية ، وظيفتها

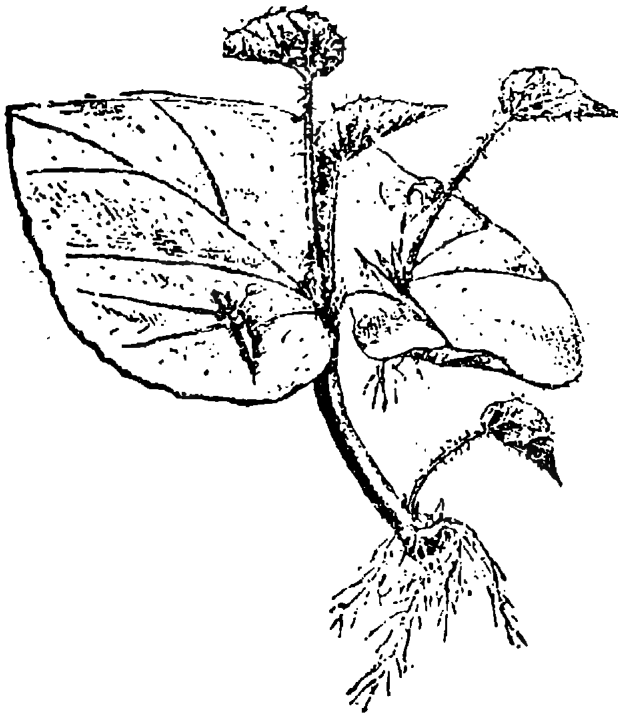
لصق الحراشيف بعضها ببعض . مما يزيد في إحكام الغطاء حول القمة النامية الرقيقة . وعندما ينقضي فصل الشتاء ويحل الربيع بدفته ، تساقط الحراشيف الخارجية وتفتح البراعم ، وتظهر الأوراق الداخلية الخضراء ، وتنمو البراعم بسرعة لتعطي فروعاً جديدة مورقة .



أحد البراعم الشتوية لنبات الخور.

والبراعم الإبطية كثيراً ما تظل كامنة ، مع احتفاظها بالقدرة على النمو إذا دعت الحاجة وتوافرت الموارد الغذائية اللازمة لإنباتها ، كما يحدث عادة عند تقليم نباتات الأسوار إذا أن

(شكل ٢٢)



براعم عرضية على ورقة البيجونيا

التقليم ينطوي على قص
أطراف الفروع وإزالة
براعمها الطرفية ،
فيؤدي ذلك إلى نشاط
البراعم الإبطية ونموها
لتحل محل الأطراف
المقطوعة ، معتمدة
على الموارد الغذائية
التي كانت تغذي تلك
الأطراف .

وفي بعض النباتات
يوجد أكثر من
برعم واحد في إبط
الورقة ، ويسمى

أكبر هذه البراعم « البرعم الأساسي » (Principal bud) ، أما بقية البراعم
فتعرف بالبراعم الإضافية أو المساعدة (Accessory buds) .

وقد تتكون البراعم أحياناً في غير مواضعها العادية ، وتعرف في هذه
الحالة بالبراعم العرضية (Adventitious buds) ، ومن أمثلتها البراعم التي
تتكون على أوراق البيجونيا (Begonia) - شكل ٢٢ - والبريوفيلم
(Bryophyllum) وعلى درنات البطاطا الجذرية .

السيقان العشبية والخشبية :

تعتبر سيقان الحشائش والأعشاب الصغيرة - كالقول والملوخية
والبرسيم وما إليها - سيقاناً عشبية (Herbaceous) ، لأنها غضة خضراء ،
لا تحتوي إلا على نسبة ضئيلة من الأنسجة الخشبية والعناصر الملجننة ، كما
أنها طرية قليلة الصلابة . أما سيقان الأشجار والشجيرات فهي سميكة صلبة
متخشبة ، تحتوي على نسبة كبيرة من العناصر الملجننة ، وسطوحها باهنة

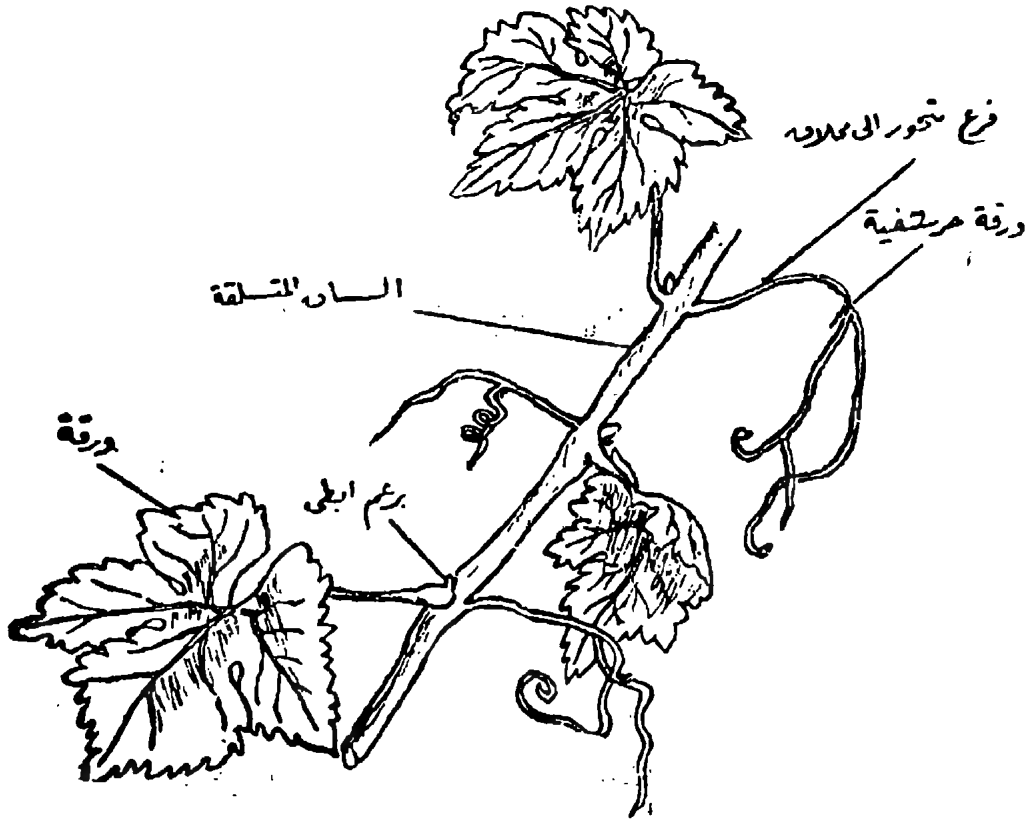
أو داكنة غير مخضرة ، متشقة لوجود القلف والفلين ، ولذلك فإن هذه السيقان تعرف بالسيقان الخشبية (Woody stems) .

السيقان القائمة والضعيفة :

من السيقان ما هو قائم ومنها ما هو ضعيف . فالساق القائمة (Erect stem) . تنمو رأسياً إلى أعلى ، حاملة الأوراق الخضراء نحو الضوء والهواء ، حيث تستطيع أن تؤدي وظيفة التمثيل على أكمل وجه ، كما تحمل الأزهار عالية في الهواء بعيدة عن سطح الأرض ، فتضعها بذلك في وضع يلائم التلقيح الهوائى والحشرى ، وكذلك تحمل الثمار لتعرضها لمختلف عوامل الإنتثار .

أما السيقان الضعيفة (Weak stems) ، فقد اختلفت بها بعض أنواع النباتات . وهى لا تقوى بنفسها على النمو في وضع قائم ، بل تحتاج إلى سند أو دعامة تعتمد عليها في الصعود إلى أعلى ، مبتعدة عن سطح الأرض . وبعضها تمتد أفقياً وترتكز على الأرض .

(شكل ٢٣)



فرع من نبات العنب بين الفرع كاذب المحور والسيقان المتلفة . وبلاحظ أن البراعم الطرفية للفروع تنمو الى مائلين للظل .

(شكل ٢٤)



ساق العليق الملتفة

وهناك ثلاثة أنواع من السيقان الضعيفة :

(١) السيقان المتسلقة : (Climbing stems) :

وهي تكون أعضاء خاصة للتسلق - تعرف بالمعاليق (Tendrils) - تربطها بالدعامة ، وبذلك تستطيع الصعود إلى أعلى . وقد تكون هذه المعاليق فروعاً أو أوراقاً أو وريقات أو أذينات متحورة . ومن أمثلة السيقان المتسلقة ساق العنب (Vitis) شكل ٢٣ .

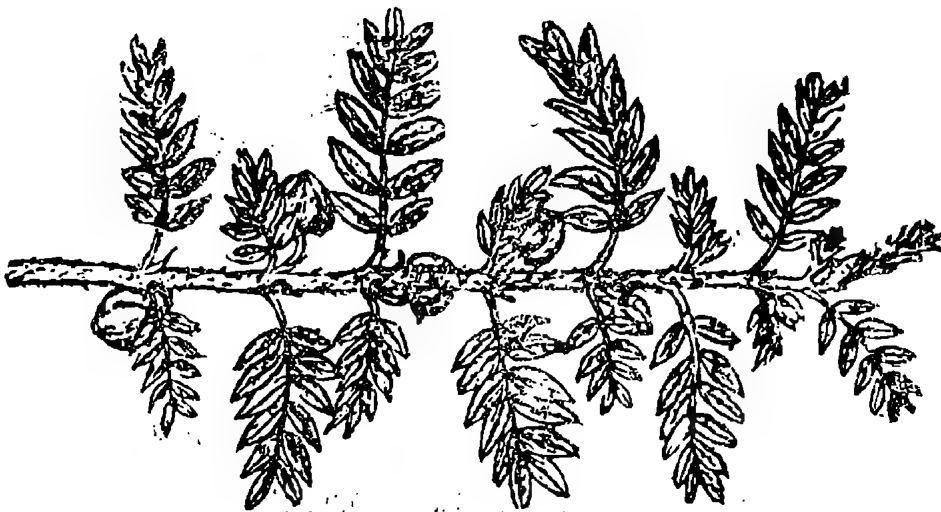
(ب) السيقان الملتفة : (Twining stems) :

وهي لا تكون معاليق ولكن تلتف الساق نفسها حازونياً كالخبل حول الدعامة ، وبذلك تحمّل المحموغ الخضري إلى أعلى ، فتعرض الأوراق والأزهار والثمار لقدر أوفر من الضوء والهواء . وقد تكون الدعائم التي تلتف حولها السيقان

قوائم صناعية أو نباتات قائمة تنمو بجوار النباتات الضعيفة : ومن أمثلة السيقان الملتفة ساق العليق (Convolvulus) شكل ٢٤ .

(ج) السيقان الزاحفة (Prostrate stems) : وهي تنمو أفقياً فوق سطح

(شكل ٢٥)

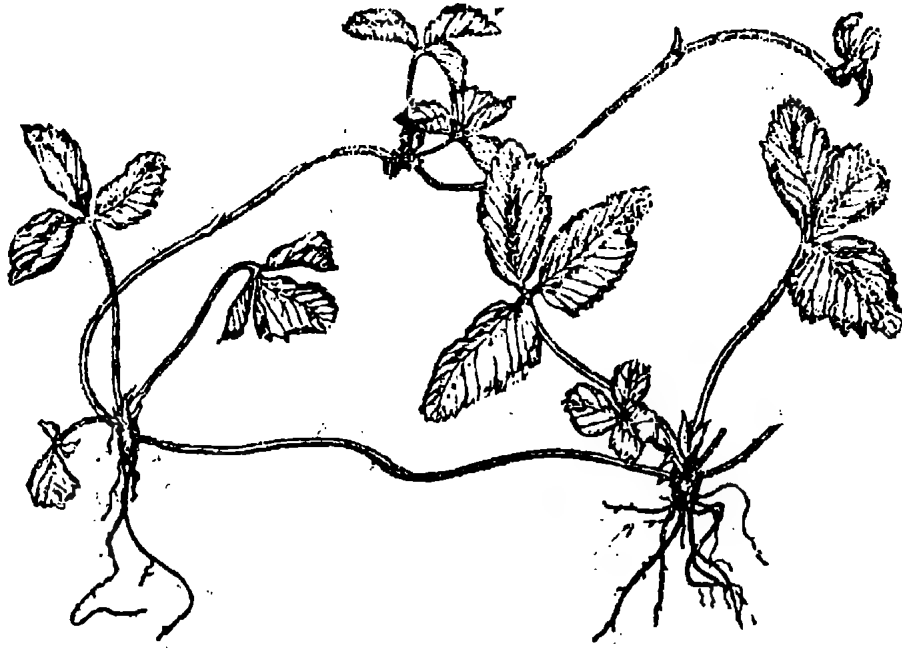


جزء من المحموغ الخضري لنبات « أم جرسية » يمثل السيقان الزاحفة ذات الذراع كاذب المحور .

الأرض ، فتغطي مساحة كبيرة ، وتعرض جميع أعضائها الخضرى للضوء والهواء ، ومن أمثلة هذه السيقان معظم نباتات الفصيلة القرعية ، كالقرع والخيار والحنظل ، وكذلك البطيخ والشمام . ومن أمثلتها أيضاً نبات أم جريسة (*Tribulus alatus*) - شكل ٢٥ - وهو منتشر فى الصحارى القريبة من القاهرة ، وفى غيرها من الصحارى المصرية .

ويلاحظ فى نباتات الفصيلة القرعية ونبات أم جريسة أن السيقان الممتدة على سطح الأرض لا تحمل جذوراً عرضية على الإطلاق ، بيد أن هناك أنواعاً من هذه النباتات الضعيفة تكون جذوراً عرضية عند العقد ، وفروعاً هوائية مقابل تلك الجذور ، وتمتد سيقانها فى وضع أفقى فوق سطح الأرض . وتعرف أمثال هذه السيقان بالسيقان الجارية (*Runners*) ، ومن أمثلتها سيقان الشليك (*Fragaria*) شكل ٢٦ .

(شكل ٢٦)



سان الشليك الجارية

محيط الساق :

معظم السيقان أسطوانية الشكل ، ولذلك تبدو مستديرة فى القطاع المبتعرض ، ومن أمثلتها ساق الملوخية وساق البرسيم . بيد أن هناك نباتات

ذات سيقان مضلعة ، كالفول واللوف والقرع ، تبدو في القطاع المستعرض عديدة الزوايا . وبالإضافة إلى هذين النوعين توجد سيقان مفلطحة منبسطة ، لها سطحان علوى وسفلى ، تشبه الأوراق الخضراء في الشكل والوظيفة ، ومن أمثلتها ساق السفندر (Ruscus) (شكل ٣٠ : ١) .

السيقان المصمتة والجوفاء :

معظم السيقان مصمته (Solid) ، بوسطها نخاع يملؤها ، وليس في مركزها أى تجويف ، ومن أمثلتها سيقان الدورانتا والقطن والملوخية . بيد أن هناك أنواعاً من النباتات العشبية - كالفول والقمح والبرسيم - سيقانها جوفاء (Hollow) وتشغل الأنسجة منطقة سطحية منها ، ويحل بوسطها فراغ مركزي واسع محل النخاع .

سطح الساق :

للساق سطح أملس في كثير من النباتات ، وتسمى في هذه الحالة ساقاً ملمساء (Glabrous) ، وفي بعض النباتات يتغطى سطحها بشعيرات قليلة أو غزيرة ، وتوصف إذ ذاك بأنها شعراء (Hairy) . ومن أمثلتها عباد الشمس والقرع . وهناك نوع ثالث من السيقان - كساق الورد - تحمل على سطحها زوائد شوكية (Prickles) خارجية الأصل ، أى أنها تنشأ من الطبقات السطحية ، وتوصف هذه السيقان بأنها شوكية (Prickly) .

السيقان الطويلة والقزمية :

الأصل في الساق أن تكون طويلة ، أى متعيزة إلى عقد وسلاميات واضحة ، وذلك هو شأنها في معظم النباتات الراقية . بيد أن هناك نباتات سيقانها قزمية (Dwarf) ، تقصر فيها السلاميات كثيراً وتتقارب العقد ، حتى لا تكاد تستبين ، وفي هذه السيقان القزمية تبدو جميع الأوراق كأنما خرجت من موضع واحد على الساق ، ومن أمثلتها الساق القرصية في الفجل والجزر والبصل . ويلاحظ في النبات الأخير أن الأوراق تخرج من مواضع متقاربة غاية التقارب على الساق القرصية .

وفي نبات الصنوبر (وسياقى وصفه بالتفصيل فى باب لاحق) يوجد نوعان من الفروع . فروع طويلة وأخرى قزمية ، وتخرج الأخيرة من آباط الأوراق الحرشفية على الفروع الطويلة ، وتمثل زوائد جانبية لتلك الفروع . ويتكون الفرع القزمى من ساق قصيرة ، مغطاة بأوراق حرشفية صغيرة بذية ، وتنتهى بورقتين خضراوين أو أكثر من ذلك فى الأنواع المختلفة .

وفى نبات العوسج (Lycium) ، توجد فروع شوكية مدببة الأطراف ، يحمل كل منهما عدداً من الفروع القزمية ، ويتكون كل فرع قزمى من ساق قصيرة لا تكاد ترى ، تحمل بضعة أوراق خضراء كبيرة الحجم نسبياً ، تبدو كأنما خرجت جميعاً من موضع واحد على سطح الفرع الشوكى ، وينتهى الفرع القزمى عادة ببرعم طرفى دقيق .

وفى أنواع السنط (Acacia) تحمل الفروع الرئيسية أوراقاً خضراء مركبة ، أذيناتها متحورة إلى أشواك ، وفى آباطها فروع قزمية ، تبدو كمجموعات من الأوراق الريشية ، مرتبة على ساق قصيرة لا تكاد ترى بوضوح ، وتنتهى تلك الفروع ببرعم طرفى دقيق .

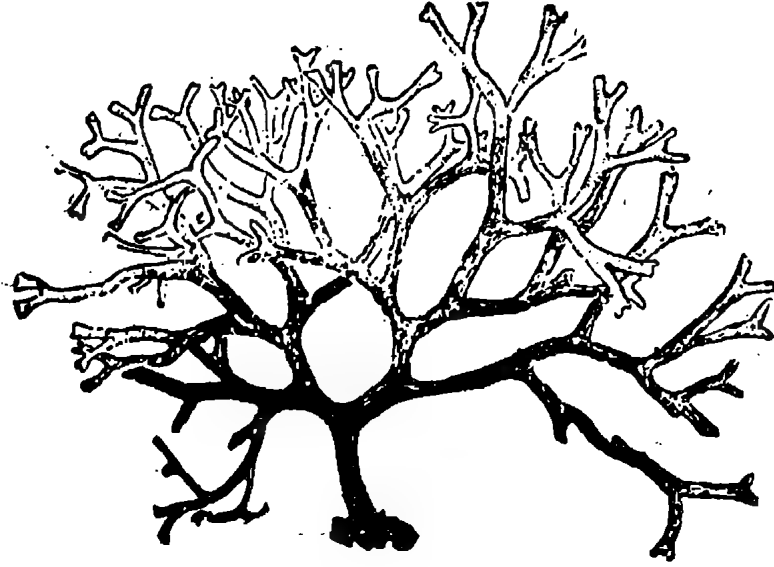
تفرع الساق

يندر أن يكون للمجموع الخضرى محور واحد غير متفرع ، كما فى النخيل والذرة والقصب . والأغلب الأعم أن يتفرع النبات ليشتغل جزءاً كبيراً من الفراغ الجوى ، ويعرض أكبر مساحة ممكنة من سطوح أوراقه وأزهاره ، وثماره للضوء والهواء ، وبذلك تستطيع هذه الأعضاء أن تؤدى وظائفها على خير وجه وأكمله .

والتفرع إما قمى (Apical) أو جانبى (Lateral) ، فأما التفرع القمى ففيه تنقسم القمة النامية إلى قسمين متساويين ، يعطى كل منهما فرعاً مستقلاً ، ثم تعود القمة فى كل فرع إلى الانقسام مرة أخرى بنفس الطريقة ، ويتكرر ذلك مرات عديدة فى حياة النبات ، ويعرف ذلك بالتفرع ثنائى

الشعب (Dichotomous branching)، وهو أكثر إنتشاراً في النباتات الأولية - كالطحالب البحرية -- منه في النباتات الراقية . ومن أمثلته تفرع طحلي دكتيوتا (Dictyota) - (شكل ٢٧) - وفيوكاس (Fucus) .

(شكل ٢٧)

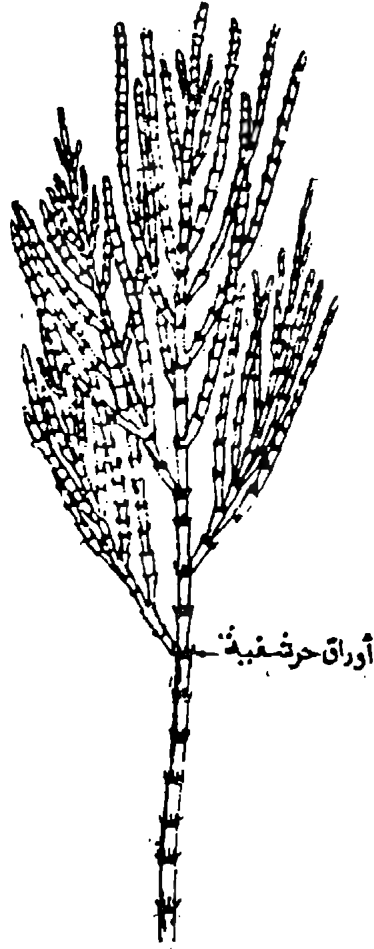


طحالب دكتيوتا (Dictyota) ويلاحظ به تفرع الثالث فرعاً فرعاً ثنائياً الشعب .

وأما التفرع الجانبي فهو الشائع في النباتات الراقية ، وهو على نوعين :

١- تفرع صادق المحور (Monopodial branching) : كما في نبات الكازوارينا (Casuarina) مثلاً (شكل ٢٨) ، وفيه يستمر نمو البرعم الطرفي ونشاطه إلى أجل غير محدود ، ويضيف باستمرار أجزاء جديدة إلى محور النبات ، وبذلك تكون جميع أجزاء المحور الرئيسي ذات أصل واحد ، لأنها نشأت من البرعم الطرفي الذي لا يحد نشاطه ، ويقال لمحور النبات في مثل هذه الحالة إنه محور صادق . وتخرج الفروع الجانبية من هذا المحور في آباط الأوراق ويكبرن أصغرهما أقربها إلى القمة ، وتزداد في الحجم والسن بالتدرج كلما بعدت عنها ، أي أنها تتعاقب على الساق تعاقباً قميّاً (Acropetal succession) ، وذلك من بعض خصائص التفرع صادق المحور .

٢- **تفرع كاذب المحور (Sympodial branching) :** فيه ينشط البرعم الطرفي لفترة محدودة ثم يتحول إلى عضو مستديم فيقف نشاطه ، ويتم المحور الأصلي عوضاً عنه فرع جانبي ، يمتد في إتجاهه فترة من الزمن ، ثم يتحول برعمه الطرفي بدوره إلى عضو مستديم ، فيأتي فرع جانبي جديد ليكمل المحور ، وهكذا . وبذلك يتألف محور المجموع الخضرى من أجزاء ذات أصول مختلفة ، كل جزء منها يمثل فرعاً جانبياً خاصاً . أما الساق الأصلية فهي في هذه الحالة محدودة النمو ، ينتهى نشاطها مبكراً بتحول البرعم الطرفي إلى عضو مستديم ، كمعلاق أو زهرة ، أو فرع هوائى في حالة الريزومات .



فرع من نبات السكازواربنا بين التفرع
صادق النمو ، وعلى الجانب الأيسر يرى
جزء مكبر التفرع يظهر عليه مجموعة من
الأوراق المرعدية المحيطة عند العقدة ،
تحدد قواعد هذا الشكل الساق .

ومن أمثلة التفرع كاذب المحور
تفرع ساق العنب (شكل ٢٣) ،
إذ أن برعمها الطرفي يتحول إلى معلاق
للتسلق ، ويتكون فرع جانبي في إبط
ورقة مقابلة للمعلاق ، وتمتد ساق
ذلك الفرع في إتجاه المحور الأصلي
للنبات ، ويستمر نموه لمسافة عقدة
واحدة في أغلب الأحيان ، أو أكثر
من ذلك في النادر ، ثم يتحول برعمه
الطرفي بدوره إلى معلاق . ويستمر
ذلك طيلة فصل النمو . فيتكون محور
النبات بذلك من عدد من الفروع
الجانبية ، مرتبة في صف واحد .

وفي نبات أم جريسة - كما في (شكل ٢٥) - تمتد الساق أفقياً فوق

سطح الأرض ، وينحور البرعم الطرفي إلى زهرة عندما يبلغ النبات سن الإزهار ، ويقف نمو المحور الأصلي عند هذا الحد ، ولكنه يحمل ورقتين مركبتين متقابلتين خلف الزهرة ، إحداهما كبيرة والأخرى صغيرة ، وفي إبط كل ورقة برعم . فأما برعم الورقة الصغيرة فيعطى - إذا نبت - فرعاً جانبياً ، وأما برعم الورقة الكبيرة فيعطى فرعاً يمتد على إستقامة المحور الأصلي ويكمله ، ثم ينتهى ذلك الفرع بدوره بتكوين زهرة تتحول فيما بعد إلى ثمرة ، ويعطى ورقتين متقابلتين ، يكمل الفرع المتكون في إبط كبراهما لإمتداد المحور الأصلي ، ويستمر ذلك طول فصل النمو .

وهناك مثل ثالث هو ساق النجيل (*Cynodon dactylon*) - (شكل ٣٣) - وهو نبات معمر له ساق أرضية تعرف بالريزومة ، سنحدث عنها فيما بعد . وتمتد هذه الريزومة أفقياً تحت سطح الأرض - على عمق غير بعيد - ويتحول برعمها الطرفي في فصل الربيع إلى فرع هوائى ، ينشئ إلى أعلى ، ويظهر في الهواء حاملاً أوراق النبات الخضراء ، أما المحور الأصلي للريزومة فيكمله فرع جانبي يخرج من إبط ورقة حرشفية على الريزومة خلف القمة مباشرة ، ويستمر نمو هذا الجزء الجديد من الريزومة بعض الوقت ، ثم يتحول برعمه الطرفي إلى فرع هوائى جديد ، ويستمر ذلك طول فصل النمو ، وبذلك يتكون المحور الأصلي للريزومة من عدة أجزاء على إستقامة واحدة ، يمثل كل جزء منها فرعاً جانبياً مستقلاً .

نحورات الساق

الأصل في الساق أن تكون عضواً قائماً أسطوانياً ، ينتجه في الهواء إلى أعلى حاملاً الأوراق والأزهار ، ومعرضاً إياها للضوء والهواء ، مما يمكنها من تأدية وظائفها على الوجه الأكمل . كذلك تؤدي الساق وظائف توصيل العصارة المجهزة من الأوراق إلى الجنبور . والعصارة النيئة من الجذور إلى الأوراق .

بيد أن بعض السيقان تؤدي وظائف أخرى ، غير الوظائف السابقة ، فتتحور لهذا الغرض ، وتتخذ أشكالاً تلائم الوظائف التي تؤديها .

وأهم التحورات المعروفة ما يأتي :

(١) السيقان الورقية : تتحول الساق إلى عضو مفلطح يقوم بوظيفة البناء الضوئي ، وذلك في النباتات التي تحمل أوراقاً حرشفية أو جافة ، أو أوراقاً خضراء صغيرة الحجم لا تفي بحاجة النبات من الغذاء المجهز ، وهناك نوعان من هذه السيقان .

(١) سيقان ورقية وحيدة السلامي (Cladodes) ، ومن أمثلتها كشك الماز (Asparagus) شكل ٢٩ . (شكل ٢٩)



جزء من المجموع الخضري لنبات كشك الماز بين سيقان ورقية وحيدة السلامي (Cladodes) ، تخرج في مجموعات من أباط أوراق حرشفية دقيقة

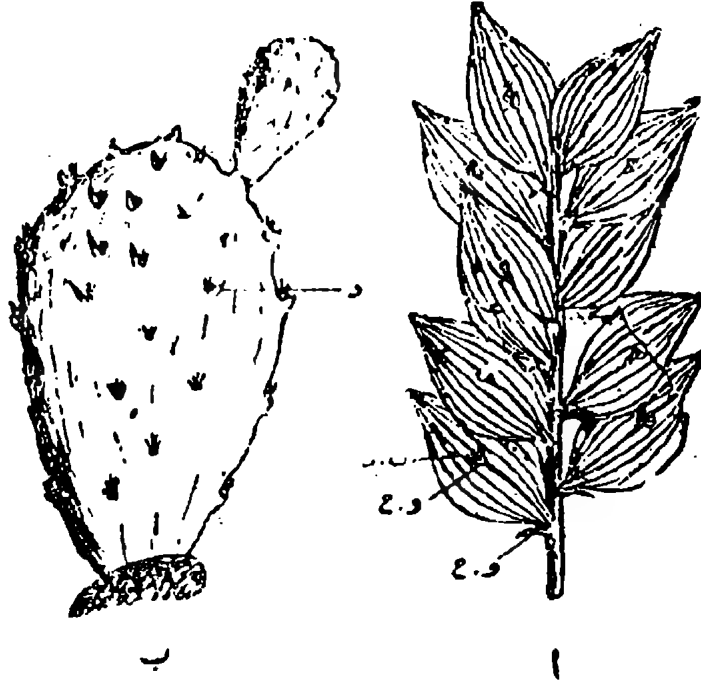
(ب) سيقان ورقية متعددة السلاميات (Phylloclades) ، ومن أمثلتها السفندر (Ruscus) والمهلنكبيا (Muehlenbeckia) وهما من نباتات الزينة .

أما السفندر (شكل ٣٠ : ١) فله نوعان من السيقان ، سيقان أسطوانية قائمة عادية ، وأخرى ورقية مفلطحة هي السيقان المتحورة وهي تشبه الأوراق تماماً في الشكل واللون والوظيفة والموضع ، وتخرج على جوانب السيقان العادية من

أباط أوراق حرشفية جافة ، صغيرة الحجم ، وتحمل في وسط مفلطحها العلوي أوراقاً حرشفية صغيرة ، في أباطها براعم زهرية تغطي أزهاراً صغيرة بيضاء . ويعتبر وجود هذه الأعضاء الورقية في أباط الأوراق الحرشفية - وحملها أوراقاً حرشفية في أباطها براعم - أدلة على أنها سيقان متحورة ، وليست أوراقاً خضراء كما يبدو من شكلها .

أما ساق المهلبكبيا (شكل ٣١) فهي أيضاً ساق ورقية مفلطحة - خضراء اللون - تؤدي وظيفة التمثيل ، ولكنها مستطيلة ومقسمة إلى عقد

(شكل ٣٠)



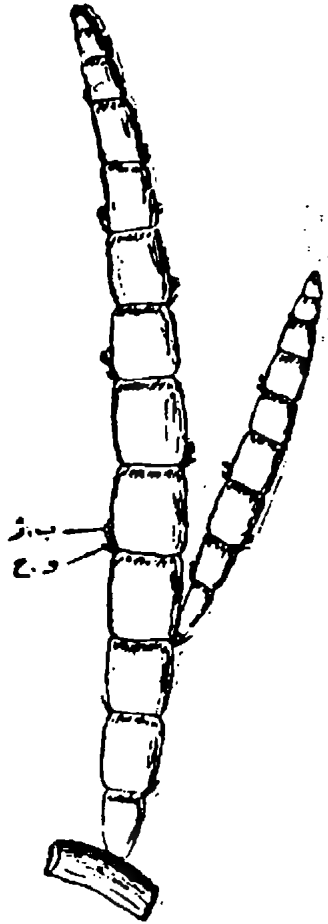
- بقلان وراقية عديدة السلاميات (Phyllocladia) متحورة لغرض التمثيل: (أ) فرع من نبات السفندر ، (ب) فرع من نبات التين الشوكي ، (ب . ز) برعم زهرى ، (و) ورقة ، (و . ح) ورقة حرشفية

وسلاميات ، وتحمل عند العقد أوراقاً حرشفية متبادلة ، في آباطها أزهار . وفي نهاية الساق المتحورة توجد قمة نامية ، كما يلاحظ التتابع التامى ، إذ أن السلاميات القريبة من القمة قصيرة ، ويزداد طولها بالتدرج كلما زاد بعدها عن طرف الساق . وكذلك تزداد درجة نمو الأزهار الإبطية كلما بعدت عن القمة .

أما في نبات الأسبرجس (كشك الماز) فالفروع المتحورة ضيقة إبرية ، تخرج في مجموعات على الساق الأصلية ، كل فرع في إبط ورقة حرشفية جافة

٢ - السيقان العصيرية المفلطحة : تتحول الساق إلى عضو مفلطح عصيري متشحم يخزن الماء في أنسجته ، ويقوم بوظيفة البناء الضوئي ، كما في نبات التين الشوكي (Opuntia) (شكل ٣٠ : ب) ، وتعتبر الأعضاء الشائكة العريضة التي يحملها النبات فروعاً متحورة ، تحمل في صغرها أوراقاً

خضراء صغيرة ، لا تلبث أن تسقط بعد فترة وجيزة : تاركة مكانها ندبة تدل على موضعها . وتوجد في آباط الأوراق براعم محمولة على انتفاخات في سطح الساق تعرف بالوسائد (Cushious) ، وتخرج من الوسائد أشواك صغيرة حادة يمكن اعتبارها أوراقاً متحورة . (شكل ٣١)



وتخزن الفروع المتحورة الماء بغزارة في أنسجتها الداخلية ، ولذلك تنشحم وتصبح عصيرية ، ويعتمد النبات على الماء المدخر في أنسجته أثناء فصل الجفاف ولذلك فقد عرف التين الشوكي باحتماله للجفاف وقدرته على استيطان الأماكن الجافة نسبياً .

٣ - السيقان الشوكية (Spiny stems) :

تتحور السيقان أحياناً إلى أشواك مادية ، مما ساعد على وقاية النباتات من حيوانات الرعي ، كما يؤدي إلى اختزال سطحها الناتج ، إذ أن هذا التحور يكون عادة مصحوباً باختزال الأوراق ، ويحدث هذا التحور بنوع خاص في النباتات الصحراوية كنبات السلة (Zilla) مثلاً . كما يحدث أيضاً في نباتات أخرى كنبات

العاقول (Alhagi) ، وهو نبات شوكي ينتشر بكثرة في الأراضي المهملة القريبة من المزارع (شكل ٣٢) ، وتخرج أشواك العاقل

برعم من نبات لاهلبيكيا
(ب . د .) برعم وهمي ،
(ج . د .) ورنه إهرشقية .

عادة من آباط أوراق صغيرة خضراء سريعة التساقط ، وتحمل أحياناً أوراقاً دقيقة أو أزهاراً . أما البرعم الطرفي فيقف نشاطه ويتحور إلى سن مدبب ، وبالإضافة إلى اختزال السطح الناتج ، يفيد التحور إلى أشواك في تقليل معدل النتح . إذ لوحظ في نباتي السلة والعاقل أن معدل النتح من وحدة السطح أقل في الأشواك منها في الأوراق ، كما لوحظ أن نسبة عدد الأشواك إلى

الأوراق تزداد في السلة كلما زاد جفاف الوسط الذي تعيش فيه ، كما يزداد أيضاً حجم الأشواك ويقل حجم الأوراق .

(شكل ٢٢)

٤ - المعاليق الساقية (Stem)



فرع من نبات المائل

(tendrils : تتحور السيقان في بعض النباتات المتسلقة كنبات العنب والأنتيجونن Antigonon

إلى معاليق للتسلق ، وتنتج البراعم الطرفية معاليق العنب فيكون ذلك إيذاناً بانتهاء نشاطها ، أما معاليق الأنتيجونن فتنشأ من براعم إبطية .

٥ - السيقان تحت الأرضية :

(Subterranean stems) تعيش بعض

أنواع السيقان تحت سطح الأرض لكي تتجنب التعرض للمؤثرات الجوية القاسية - من برد ورياح - أثناء فصل الشتاء ، وتحمل هذه السيقان الأرضية براعم وأوراقاً حرشفية ، وتظل براعمها كامنة طول فصل الشتاء تحميها الأوراق الحرشفية وتغطيها ، حتى إذا جاء الربيع ودفاً الجو ، دب فيها النشاط فتمت وأنتجت فروعاً هوائية ذات أوراق خضراء ، تقوم بوظيفة التمثيل ، وتنمو هذه الفروع الهوائية وتزدهر في فصل الربيع والصيف . وقبل انتهاء فصل النشاط الخضرى يأخذ النبات في تخزين المواد الغذائية الناتجة من عملية التمثيل في أجزائه الأرضية ، لكي تتغذى عليها البراعم عند إنباتها في الربيع التالي . بعد ذلك تذوى الفروع الهوائية وتجف ويدخل النبات في دور السكون من جديد ، وبذلك يستطيع أن يعمر من عام إلى عام بوساطة براعمه الأرضية من ذلك يتضح أن أهم الفوائد التي تؤديها السيقان تحت الأرضية هي التعمير واختزان الغذاء العضوى والتكاثر الخضرى ، أى التكاثر بدون بذور ، وذلك لأن الساق تحت الأرضية إذا قسمت إلى قطع ، تحتوي كل قطعة منها على برعم أو أكثر من البراعم الكامنة ، مع قدر كاف من الغذاء

المدخر ، ثم زرعت تلك القطع في ظروف ملائمة ، فإن كل قطعة منها تستطيع أن تنتج نباتاً جديداً .

وأهم السيقان الأرضية :

(١) الريزومة (Rhizome) : وهي ساق تمتد أفقياً تحت سطح الأرض وتتفرع في كل اتجاه ، وتنقسم إلى عقد وسلاميات . وتحمل عند العقد جذوراً عرضية ليفية ، كما تحمل أوراقاً حرشفية في آباطها براعم . وتظل البراعم كامنة في فصل الشتاء ولكنها تنبت في الربيع لتعطي فروعاً هوائية خضراء ، وتتفرع الريزومات عادة تفرعاً كاذب المحور ، إذ تنشئ القمة النامية إلى أعلى ويتحول البرعم الطرفي إلى فرع هوائي يبرز فوق سطح الأرض ، ويستمر محور الريزومة في النمو بوساطة برعم جانبي في إبط ورقة حرشفية . تقع خلف البرعم الطرفي المتحول . ويمتد البرعم الجانبي على استقامة المحور الأصلي حتى يبدو وكأنه جزء متمم له ، ثم لا يلبث برعمه الطرفي أن ينشئ إلى أعلى ، ويتحول بدوره إلى فرع هوائي ، وهكذا .

ومن أمثلة الريزومات النجيل (Cynodon) شكل ٣٣ ، والكانا (Canna) شكل ٣٤ ، البردى ، والسمار والغاب الرومي (Bamboo) . وبعض الريزومات رفيعة كريزومة النجيل ، تقل فيها كمية الغذاء المدخر ، وبعضها غليظة تخزن قدرأً وافراً من المواد الغذائية ، كريزومات الكانا والبردى والسوسن (Iris) . وتستطيع الريزومة إذا قطعت أجزاء كثيرة - يشمل كل منها براعم وجانباً من النسيج الغذائي - أن ينتج كل جزء إذا زرع نباتاً جديداً . وهذه هي طريقة التكاثر الخضري المتبعة عادة في إكثار هذه النباتات .

(ب) الدرنة (Tuber) : وهي ساق تحت أرضية منتفخة ، مملوءة بالغذاء المدخر ، وأكثره مواد نشوية . والدرنة غير مقسمة إلى عقد وسلاميات واضحة ، ولكنها تحمل أوراقاً حرشفية وبراعم في تجاويف قليلة الغور ، تسمى العيون (Eyes) ، منتشرة على سطحها في غير انتظام (شكل ٣٥) .

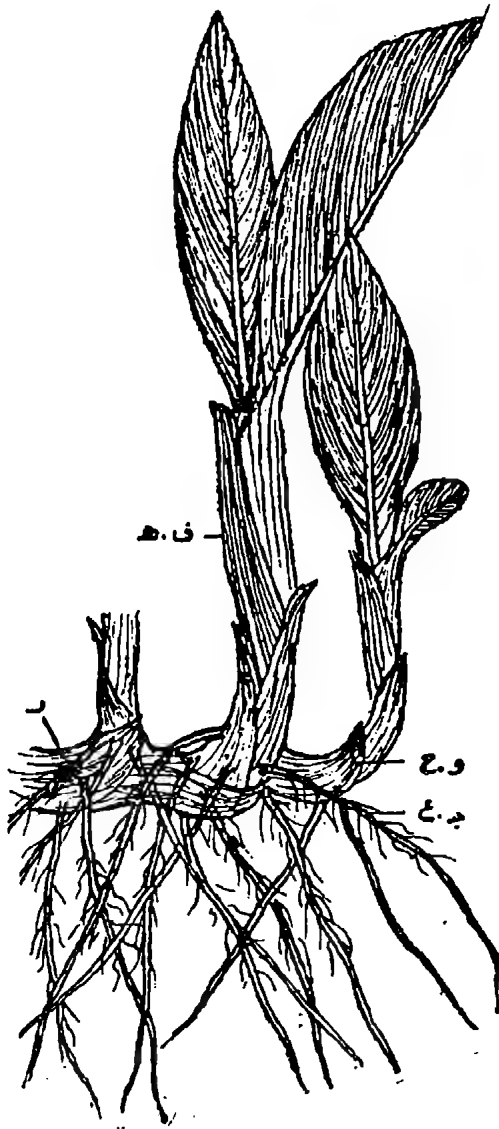
ودرنات البطاطس أهم أمثلة الدرنات ، وتمثل نهايات فروع خاصة قريبة من سطح الأرض ، تتفخ وتتضخم لاكتنازها الغذاء المخزن ، وتمتلئ خلاياها بالحيويات النشوية ، ويتغطى سطحها بقشرة باهتة ، تفتبر فيها العيون

(شكل ٢٢)



نبات النجيل ونرى به الريزومة تحمل أوراقا حرشفية عند العقد ، كما تغطي أفرعها هوائية إلى أعلى وجذورا عرضية ليفية (ج.ع) إلى أسفل .

(شكل ٣٤)



جزء من رزمة إيات السكنا (ر) بين :
(ج . د) جذر عرضي ، (ف . هـ) فرع
هوائي ، (و . ح) ورقة حرشفية .

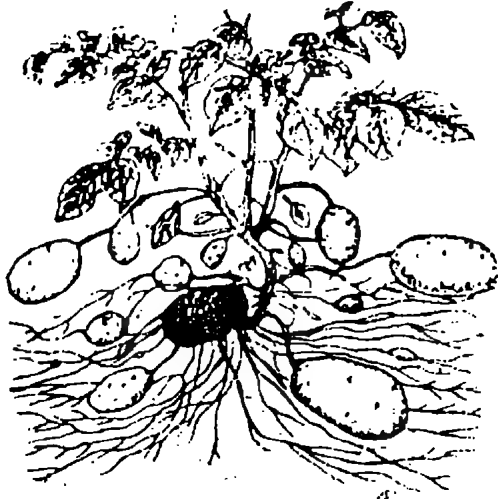
التي تحتوي كل واحدة منها على
برعم أو أكثر في آباط أوراق
حرشفية ، تنفصل عادة عند
انزعج الدرنات من التربة ،
وبذلك لا يمكن رؤيتها ، وأهم هذه
العيون هي العين الطرفية التي توجد
في النهاية البعيدة عن مكان اتصال
الدرة بالفرع ، وتحتوي البرعم
الطرفي الساق المتحورة ، وتوجد
في الطرف المقابل لتلك العين
الكبيرة بقايا الفرع الذي يحمل
الدرة ، وتبدو كعنق قصير
يندوى بالتدريج .

ويستكثر البطاطس بتقطيع
درناته قطعاً تحتوي كل منها عينا
أو أكثر وجانباً من النسيج
الغذائي ، ثم تغرس هذه القطع
على مقربة من سطح الأرض
فتنبت البراعم التي بالعيون ،
وتعطي فروعاً هوائية تحمل
أوراقاً مفلطحة خضراء ، كما

تعطي فروعاً أخرى تمتد تحت الأرض وتنتهي بالدرنات . وتقوم الأوراق
بوظيفة البناء الضوئي لتغذية النبات ، ويخزن ما يفيض عن حاجته على هيئة
نشاء في أطراف السيقان الأرضية ، وبذلك تتكون الدرنات .

(ج) الكورمة (Corm) : تمثل الكورمة القاعدة الأرضية لساق هوائية
تمتلئ بالغذاء النشوي المدخر ، فتنتفخ وتكون جسماً متشعباً . وتنقسم

الكورمة رأسياً إلى عقد وسلاميات . وتحيط بها العقد إحاطة تامة ، وتتصل بها هنالك أوراق حرشفية عريضة القاعدة ، بنية اللون ، لاصقة بسطح الكورمة (شكل ٣٥)

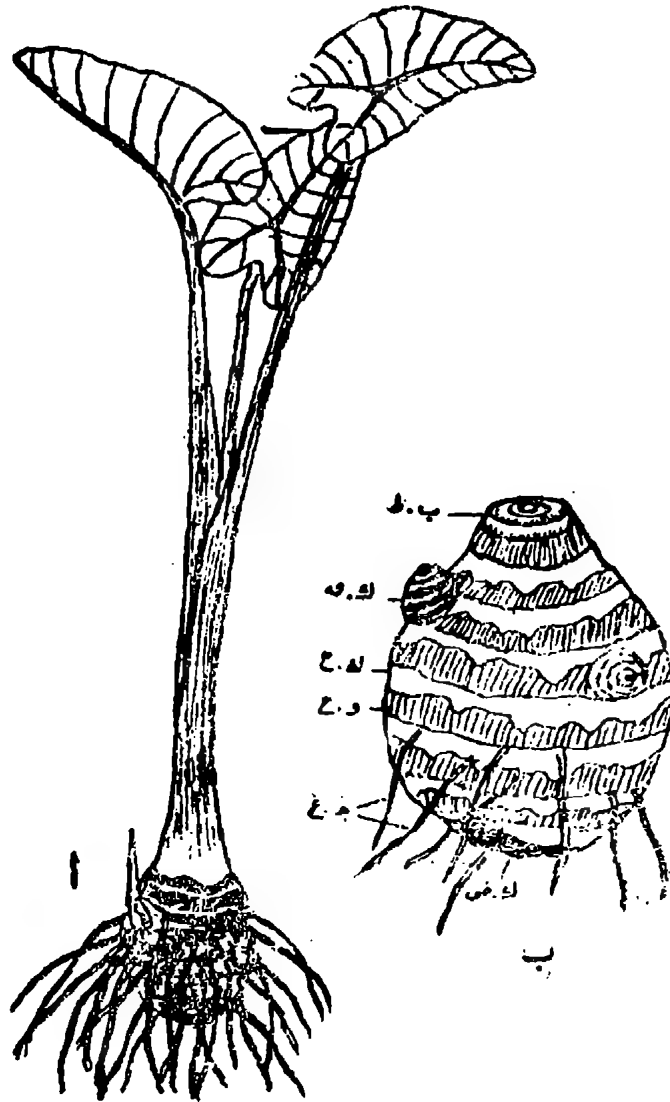


نبات البطامس ونرى السيفان البرية

تغلف السلامي كلها وتخرج من آباط الأوراق براعم مختلفة الأحجام ، تمزق الحراشف وتظهر من خلالها ، وتصل بعض هذه البراعم إلى حجم كبير ، حتى تشبه كورمات صغيرة ، تعرف بالأززار ، كما تخرج من سطح الكورمة جذور عرضية خيطية ، تحرق التربة ، وتقوم بوظيفة الامتصاص .

وإذا قطعت كورمة القلقاس قطعاً طويلاً منصفاً ، وفحص سطحها المقطوع ، لوحظ أن الجانب الأكبر منها مكون من نسيج غض ، ممثلة خلاياه بالنشاء امتلاء تاماً ، إذا عولج بقطرة من محلول اليود المخفف اصطبغ باللون الأزرق ، ويعرف ذلك الجزء الغض بكورمة السنة الحالية ، وفي أسفلها يوجد جزء متجلد قديم يمثل بقايا كورمة السنة الماضية ، وقد خلت خلاياها من الغذاء المذخر ، حيث استنفد في إنتاج الفرع الهوائي الذي انتهى بتكوين كورمة السنة الحالية . ويعتمد الفرع الهوائي على الغذاء المذخر في الكورمة أثناء الأدوار الأولى لنموه ، قبل أن تقوم الأوراق الخضراء ببناء ما يفي باحتياجاته الغذائية . وتبدو كورمة السنة الماضية مختلفة لوناً وامتلاء عن كورمة السنة الحالية ، كما تبدو أكثر منها جفافاً . وفي قمة الكورمة يوجد برعم طرفي ، به منطقة نمسو مرستيمية مخروطية الشكل ، تحيط بها أوراق برعمية غضة بيضاء محمرة ، ومن خارجها توجد الأوراق الخوصية البالغة - بقواعدها العريضة - تغلف البرعم تغليفاً تاماً فحيمه . وإذا تركت الكورمة في الأرض سنة أخرى ، فإن البرعم الطرفي ينبت في الربيع التالي ، ليعطي فرعاً هوائياً جديداً ، ينتهي بتكوين كورمة جديدة .

(شكل ٣٦)



(١) نبات القلقاس ، (ب) كورمة القلقاس : (ب ط) برعم طرق ، (ج.ح) جذر عرضي ، (ك.ح) كورمة السنة الحالية ، (ك.ض) كورمة السنة الماضية ، (ك.ق) كورمة السنة القادمة ، (و.ح) ورقة حرسية .

ويعد القلقاس (*Colocasia antiquorum*) - شكل ٣٦ - أهم أمثلة الكورمات ، ويستعمل الغذاء المدخر فيه طعاماً للإنسان ونحمل القلقاسة أضراراً جانبية وبراعم ، ويستكثر نبات القلقاس زراعياً بتقطيع الكورمة إلى أجزاء ، يشتمل كل منها على برعم أو أكثر ، مع جانب من النسيج الغذائي . وتغرس هذه القطع في الأرض شتاء ، فتثبت براعمها في الربيع على حساب الغذاء المدخر ، لتكون فروعاً هوائية تحمل أوراقاً خوصية خضراء .

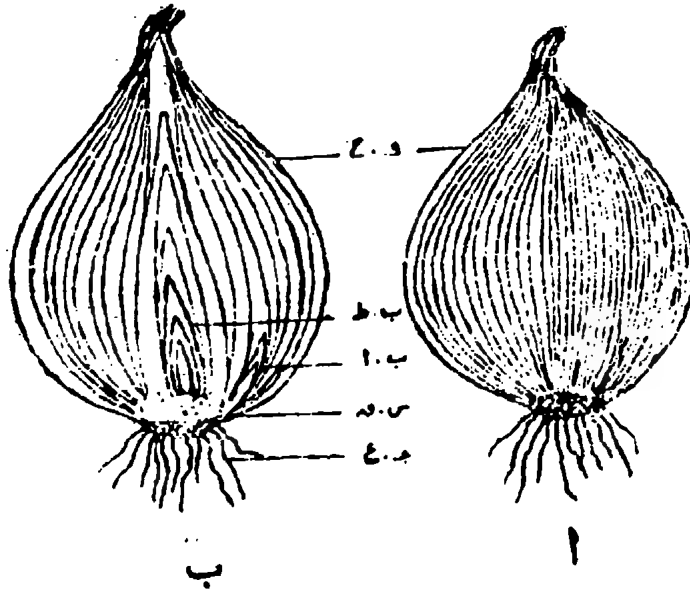
ويتحول مايفيض عن حاجة النبات من الغذاء العضوى المتكون فى عملية التمثيل إلى نشا يدخر فى الجزء الأرضى من الساق مكونا كتورمة جديدة ، وتذوى الأوراق الخضراء العريضة فى نهاية فصل النمو ثم تجف . وتبقى قواعدها التى تحت الأرض مغلفة للبرعم الطرفى الذى فى قمة الكورمة . وتظل البراعم التى على سطح الكورمة كامنة مدة طويلة ، حتى إذا حل الربيع التالى نشطت ونبتت . وأعطت فروعاً هوائية جديدة . وذلك هو التكاثر الخضرى فى القلقاس .

(د) البصلة (Bulb) : البصلة ساق قصيرة غاية القصر قرصية الشكل ، تعرف بالقرص (Disc) ، وتحمل على سطحها السفلى جذوراً عرضية ليفية تنجبه إلى أسفل ، وتمتد فى الأرض لتثبيت النبات وتمتص له الماء والأملاح . كما تحمل على سطحها العلوى حراشيف بيضاء سمكية عصرية ، يغلف بعضها بعضاً فى طبقات متعددة . وتمثل هذه الحراشف قواعد الأوراق الهوائية الخضراء - أو أوراقا حرشفية خاصة فى بعض النباتات - وتغطى البصلة عادة بورقة غشائية جافة حمراء أو بنية . وتوجد الأبصال فى كثير من أفراد الفصيلة الزنبقية كالبصل (شكل ٣٧) والنبوليب (Tulip) والزنبق (Lilium) . كما توجد أيضاً فى نبات النرجس (Narcissus) . وفى الثوم (Garlic) تتجمع عدة بصيلات (Bulbils) فى مجموعة واحدة ، تغلفها من الخارج أغلفة مشتركة جافة غشائية ، وتمثل كل بصيلة برعمها إبطياً فى بصلة كبيرة .

وإذا قطعت البصلة طولياً وفحص سطحها المقطوع شوهدت الحراشف كما تشاهد الساق القرصية ، منتهية فى وسطها برعم طرفى كبير . وقد توجد براعم جانبية أيضاً فى آباط بعض الأوراق .

وينبت البرعم الطرفى فى الظروف الجوية الملائمة ، ليعطى فرعاً هوائياً ذا أوراق خضراء ، وتنبعه فى النمو البراعم الإبطية ، وكلها تعتمد فى

(شكل ٢٧)



(١) الشكل الخارجى للبصلة ، (ب) قطاع طولى لها : (ب.ا) برعم أبهى ، (ب.ط) برعم طرفى ، (ج.و) جذر عرضى ، (س.ه) ساق فرسية ، (ع.و) ورقة حرشفية .

الأدوار الأولى للنمو على الغذاء العصيرى المدخر فى القواعد اللحمية للأوراق . ولذلك تضمر هذه القواعد ويصغر حجم البصلة كثيراً أثناء تكوين هذه الفروع الهوائية . وتنشط الأوراق الخضراء فى تأدية وظيفة البناء الضوئى فترة من الزمن ، ثم يدخر جانب من الغذاء المتكون فى عملية البناء فى قواعدها التى تحت الأرض - وذلك فى أواخر فصل النمو - فتتفخ تلك القواعد وتكبر مكونة أبصالاً جديدة ، تتفكك نتيجة لضمور قواعد الأوراق التى كانت تضمها جميعاً فى البصلة الأصلية ، بينما يأخذ الفرع الهوائى فى الذبول والجفاف حتى يندوى . وتظل الأبصال كامنة فى الأرض طالما بقيت الظروف الجوية غير ملائمة ، ثم تنمو براعمها بعد ذلك عندما تتحسن الظروف ، وتكرر هذه العملية عاماً بعد عام إذا تركت الأبصال فى الأرض . وتخزن المادة الغذائية فى معظم الأبصال فى صورة سكر لا نشاء .

التكاثر الحضري في النباتات الراقية

رأينا كيف يتحور المجموع الحضري في بعض النباتات إلى ساق أرضية تؤدي أغراض التعمير واختزان الغذاء المدخر والتكاثر الحضري . كما رأينا أيضاً كيف تستطيع هذه السوق الأرضية المتحورة - بأنواعها المختلفة - إذا قسمت قطعاً محتوي كل منها على بزعم أو أكثر ، مع جانب من النسيج الغذائي ، وغرست في ظروف ملائمة ، أن تنبت براعمها لتكون فروعاً هوائية . وتعزى قدرة هذه النباتات على التكاثر الحضري إلى وجود الغذاء المدخر ، الذي يساعد البراعم على النمو في الأدوار الأولى ، التي تسبق تكوين الأوراق الخضراء ، ومثل الغذاء المدخر في هذه السيقان الأرضية كمثل الغذاء المدخر في البذور ، كلاهما يستهلك في المراحل المبكرة للإنبات .

وليس التكاثر الحضري مقصوراً على السوق الأرضية فحسب ، بل إن هناك أنواعاً من السيقان الهوائية الثائمة والضعيفة تستطيع هي الأخرى أن تتكاثر خضرياً .

وأهم أنواع التكاثر الحضري الصناعي ما يأتي :

التكاثر بالعقل « التعقيل »

تستعمل هذه الطريقة في إكثار أنواع كثيرة من النباتات صناعياً ، كالعنب والورد وقصب السكر والتين ، إذ تقطع أجزاء من سيقان هذه النباتات بكل منها عدة براعم - تعرف بالعقل (Cuttings) - ثم تفرس هذه العقل رأسياً في تربة رطبة ، بحيث يبرز جزء منها فوق سطح الأرض ، فتتكون عند قواعدها جذور عرضية بعد فترة من الزمن ، كما تنبت البراعم مكونة فروعاً هوائية . تستمر في النمو حتى تكون نباتات بالغة مستقلة . ومن مزايا التكاثر بالعقل أنه يؤدي إلى إنتاج نباتات تشبه أصولها إلى أبعد حد ، وفي ذلك يختلف هذا النوع من التكاثر عن التكاثر بالبذرة

الذى يؤدى أحياناً إلى إنتاج نباتات تختلف عن أصولها من وجوه كثيرة ،
وهناك ميزة أخرى هي أن النمو أسرع كثيراً في حالات التكاثر الخضري
منه في حالة التكاثر بالبذرة .

التطعيم

التطعيم (Grafting) نوع من الإكثار الخضري الصناعي . يستعمل
كثيراً في حالة أشجار الفاكهة بنوع خاص . فيه تنقل قطعة من ساق أحد
النباتات - تعرف بالطعم (Graft or scion) - لتلتصق بساق نبات آخر
قريب الشبه منه : يعرف بالأصل (Stock) . ويتصل النباتان معاً ليكونا
نباتاً واحداً . يستفيد فيه الطعم من المجموع الجذري للأصل . كما يستفيد
الأصل من المجموع الخضري للطعم . وبذلك تتوفر لنبات المزيج الناتج
مزايا النباتين معاً .

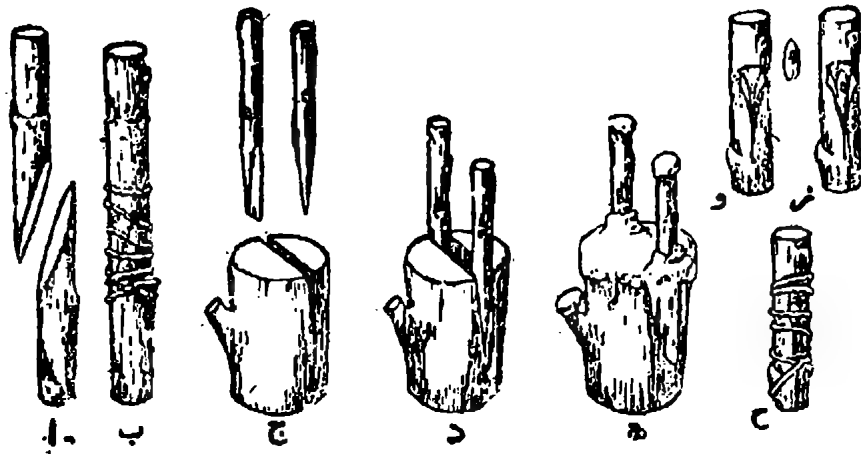
ويجب ليكن ينجح التطعيم . أن يكون الطعم من نفس جنس الأصل ،
أو من جنس آخر قريب منه : يشبهه في صفات كثيرة . فيطعم البرتقال
مثلاً على النارنج والخوخ على البرقوق . والكثير على السفرجل ،
وهكذا .

وهناك عدة أنواع من التطعيم أهمها ما يأتي :

- ١ - التطعيم بالقلم : ويستعمل في حالة الأشجار المتساقطة الأوراق ،
وفيه يتم قطع فرع الطعم إلى عدد من القطع ، تحتوى كل قطعة على برعمين
أو ثلاثة ، ويرى طرفها كما يرى القلم ، أو يقطع بميل لتعريض سطح مائل
«ظيف» (شكل ٣٨ ج) ، كذلك يقطع الأصل أفقياً على مقربة من سطح
الأرض . ثم يعمل فيه شق عمودى يبتدىء من السطح المقطوع ، ويوضع
القلم في ذلك الشق بإحتراس ، بحيث تنطبق أنسجة الكامبيوم في القلم والأصل .
بعد ذلك تغطى الجرح بطلاء خاص : يعرف بطلاء التطعيم (شكل ٣٨ : هـ) ،
فائدته حماية الجرح من الآفات ومن دخول الهواء . ويلف رباطاً محكم حول
مكان التطعيم زيادة في الوقاية من أشعة الشمس والجفاف .

ويجرى التطعيم بالقلم قبيل بدء النشاط الربيعي وتحرك العصارة . ويحفر القلع خلايا السطحين المقطوعين للانقسام والنمو وتكوين كالوس (Callus) يغلفها ، ويعتق ذلك اتصال الخشب واللحاء في الطعم والأصل .
ومن الممكن لصق عادة أقلام من الطعم في أصل واحد : مع ملاحظة أن بتلامس الكامبيوم والقشرة في كل من الأصل والطعم (شكل ٣٨) .

(شكل ٣٨)



طرق التطعيم المختلفة : (أ) طعم وأصل مقطوعان قطعاً مائلاً ، (ب) طريقة ربط موضع اتصال الطعم بالأصل ، (ج ، د) طعم على شكل قلم وآخر مقطوع قطعاً مائلاً وطريقة وضعها في شق بالأصل ، (هـ) طريقة تنطية موضع لصق الأقلام بالطعم بواسطة الفم ، (و - ح) طريقة التطعيم بالبرعم (عن سميت وآخرين) .

٢ - التطعيم بالبرعم أو بالعين : في هذا النوع من التطعيم يرشق برعم (bud) تحت قلف الأصل . ويختار عادة أحد البراعم الكامنة تامة النمو ، ويفصل عن النبات الذي يراد التطعيم منه باحتراس شديد ، وذلك بقطعة بمبراة حادة قطعاً يصل إلى الخشب وينتزع جانباً من القشرة ، ثم يوضع البرعم المقطوع في شق يعمل في الأصل على شكل حرف (شكل ٣٨ : و - ح) ، ثم يربط موضع التطعيم برباط محكم ، لوقاية الطعم ومع تسرب الهواء والجراثيم إلى الأجزاء المخروجة . وتأخذ الأنسجة في الالتحام بالتدريج ، كما تأخذ الجروح في الالتئام ، وبعد إنبات البرعم المنقول

وبلوغه درجة كافية من النمو ، تقطع فروع الأصل التي فوقه ، وذلك ليتحول إليه جميع الغذاء المجهز ، فيساعد ذلك على سرعة نموه ، وتجري عملية التطعيم بالعين عادة في فصل الربيع حين ينشط نمو النبات وتتحرك العصارة .

٣ - التطعيم باللصق : ويستعمل في إكثار بعض أشجار الفاكهة ، كالمانجو والجوافة : وتستعمل في هذه الطريقة أصول مزروعة في أصص لا يزيد عمرها على ثلاث سنوات ، وتبدأ بنزع مساحة صغيرة من قلف الأصل ، ثم ينتخب طعم جيد الثمر ، ويختار منه فرع يشبه الأصل في سمكة وينزع منه القلف هو الآخر لمسافة محدودة . وبعد ذلك يقرب الأصل من الطعم حتى يلتصق به ، ثم يربط الفرع بإحكام ، ويطلّى الرباط بطلاء التطعيم . وبعد شهرين أو ثلاثة يتم الالتئام الجرح ، وعندئذ يقطع أسفل نقطة الالتئام ، كما يقطع الأصل أعلاها ، حتى يصل كل الغذاء إلى الطعم . ويوضع النبات المطعم حديثاً في مكان ظليل حتى يمكن استمرار نمو الفرع على الأصل ، وبعد ذلك ينقل من الأصيص إلى الأرض المستديمة .

فوائد التطعيم :

(أ) الاحتفاظ بجودة الصنف : إذ أن ذلك غير مكفول في الإكثار بالبذرة ، حيث تلقح الأزهار التي تنتج البذور تلقحاً خاطئاً .

(ب) مقاومة الأمراض : إذ أن النباتات تختلف في درجة مقاومتها للأمراض المختلفة ، فالبرتقال مثلاً يصاب بمرض التصمغ ، أما النارج فلا يصاب به ، ولذلك يطعم البرتقال على أصول من النارج في الجهات التي ينشر فيها هذا المرض . كذلك الخوخ تصاب جذوره بالدودة الثعبانية إذا زرع في الأراضي الرملية ، بينما يقاوم المشمش هذا المرض ، ولذلك يطعم الخوخ على أصول من المشمش ، وهكذا .

(ج) سرعة الإثمار : تثمر النباتات المستكثرة بالتطعيم أسرع كثيراً مما تثمر النباتات المزروعة بالبذرة .

(د) استكثار نباتات في تربة لا تلائم نمو جذورها: وذلك باستعمال هذه النباتات طعاما على اصول تستطيع أن تنجح في تلك التربة ، ففي الأراضي الرملية مثلا - حيث ينجح الليمون أكثر مما ينجح البرتقال بطعم البرتقال على اصول من الليمون .

الترقيـد

في بعض النباتات ذوات السيقان الجارية ، كالشليك ، تلامس الساق سطح الأرض في بعض مواضع ، فتحفرها هذه الملامسة إلى تكوين جذور عرضية تمتد في الأرض ، كما تحفر البراعم على النمو لتكوين فروع هوائية . وتستغل هذه الظاهرة في إكثار هذا النبات وغيره إكثاراً خضرياً صناعياً . إذ تنثى الفروع إلى أسفل لتلامس سطح الأرض في بعض مواضعها ، وتثبت في ذلك الوضع فترة من الزمن ريثما تعطي جذوراً عرضية وفروعاً هوائية جديدة وبعد ذلك يفصل الفرع عن النبات الأصلي ليصبح نباتاً مستقلاً ، وتعرف هذه الطريقة بالترقيد ، ومن أمثلة النباتات ذوات السيقان الجارية التي تستكثر بهذه الطريقة - بالإضافة إلى نبات الشليك (شكل ٢٦) - نبات الليبيا (Lippia) ، وهو من نباتات المتنزهات التي تغطي سطح الأرض ببساط أخضر .

ولا يقتصر الترقيد على النباتات ذوات السيقان الجارية وحدها ، بل إن هناك نباتات ذوات تفرع هوائي عادي ، كالجهنمية والعنب والليمون ، يمكن إكثارها بهذه الطريقة . وإذا تعذر ثني الفرع المراد ترقيده لصلابته أو بعده عن سطح الأرض ، فمن الممكن ترقيده في أصيص يوضع في المستوى الملائم . وتستمر عملية الترقيد بضعة أسابيع ، يستمد الفرع الراقد خلالها ما يلزمه من غذاء من النبات الأصلي ، نظراً لاتصاله به ، وبعد ذلك يفصل الفرع الراقد عن النبات الأصلي ليكون نباتاً مستقلاً .

الباب السادس

الورقة

الأوراق النباتية - كما قدمنا - زوائد جانبية خضراء مفلطحة ، تحملها السيقان عند العقد ، وتؤدي وظيفة البناء الضوئي . وأجزاؤها الرئيسية - التي سبق بيانها في الباب الثاني - هي القاعدة والعنق والنصل ، وستحدث عن كل منها بشيء من التفصيل في هذا الباب .

قاعدة الورقة (Leaf base) :

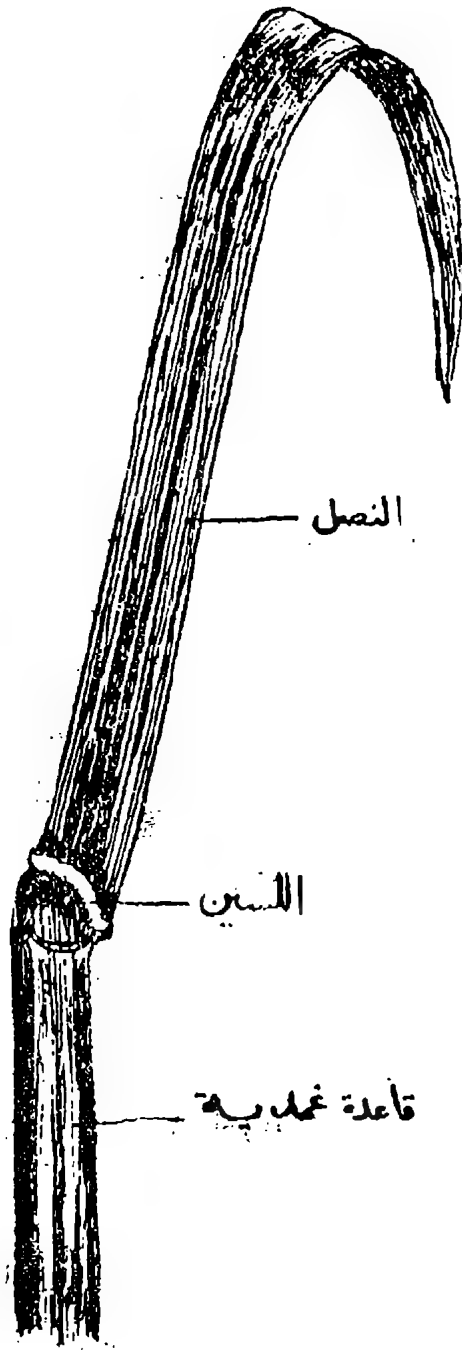
القاعدة هي الجزء الذي تتصل عنده الورقة بالساق ، وهي أضخم قليلاً من العنق ، وقد تنتفخ انتفاخاً ظاهراً في بعض النباتات ، وتقرب من الساق اقتراباً شديداً حتى تكاد تلتصق به أحياناً ، مكونة معه زاوية حادة ، تعرف بإبط الورقة (Leaf axil) . ويساعد هذا الالتصاق على حماية البرعم - أو البراعم - الإبطية الرقيقة من مختلف المؤثرات الخارجية .

وفي بعض النباتات تمتد القاعدة لتكون غمداً يحيط بالساق - إحاطة تامة أو جزئية - فتزيد في حماية البراعم ، والأعتماد الورقية نادرة الوجود في ذوات الفلقتين ، ولكنها واسعة الانتشار بين ذوات الفلقة الواحدة . وأكثر ما توجد في ذوات الفلقتين بين أفراد الفصيلة الخيمية (Umbelliferae) . كالجزر والشمر والينسون وغيرها . أما في ذوات الفلقة الواحدة فهي منتشرة بين نباتات الفصيلة النجيلية (Gramineae) ، كالقمح والذرة والنجيل والغاب والبوص .

ويمتد الغمد في بعض النجيليات مسافة طويلة على الساق قد تصل إلى سلامي أو أكثر . وورقة النجيليات تتكون من غمد ونصل ، لا يصل بينهما عنق ، ولذلك فهي ورقة جالسة ، ويوجد على سطحها العلوى غشاء رقيق

بين القاعدة والنصل ، يعرف باللسين (Ligule) ويمكن مشاهدته بوضوح في ورقة الذرة (شكل ٣٩) .

(شكل ٣٩)



ورقة الذرة ، ويرى بها النصل ذو التعرق
التوازي والقاعدة الغمدية التي تلتف اللسان
واللسين .

وفي بعض النباتات تحمل القاعدة زائدتين على جانبيها ، تعرفان بالأذيتين (Stipules) ، تساعدان في حماية البراعم وتغطيتها ، وتسمى الأوراق التي تحمل أذيتان أوراقاً مؤذنة (Stipulate) ، وإذا خلت من الأذيتان سميت غير مؤذنة (Exstipulate) ، ومن أمثلة الأوراق المؤذنة أوراق الورد والملوخية والسنت والبسلة وغيرها ، وفي ورقة الورد (شكل ٤٣ : ب) تلتحم الأذيتان بعنق الورقة مسافة قصيرة . وفي نباتات الفصيلة الحمضية (Polygonaceae) تنصل الأذيتان معاً لتكونا غمداً أنبوبياً غشائياً حول قاعدة السلاحي (شكل ٤٠) ، ويعتبر هذا الغمد من أهم صفات الفصيلة ، ويعرف بالأذينة الغمدية (Ochrea) .

عنق الورقة :

(Leaf stalk or petiole)

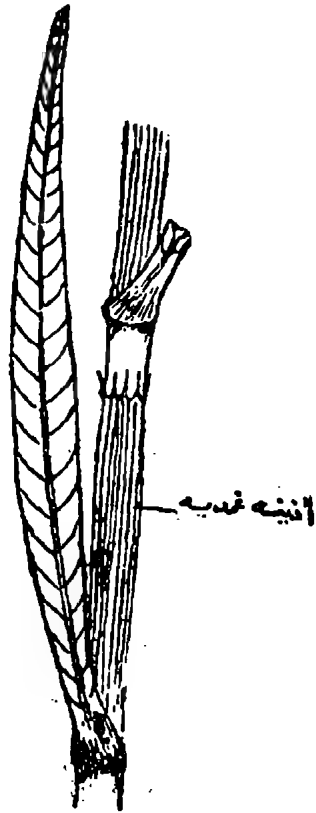
عنق الورقة جزء أسطوانى مستطيل ، يختلف طولاً وقصراً باختلاف النباتات ، وقد يكون مستديراً أو إسطوانياً تاماً في بعض الأحوال ، أو مقعراً بعض الشيء من ناحية سطحه العلوى ،

وهذا هو الأرجح ، ووظيفة العنق حمل النصل بعيدا عن الساق ، حيث يأخذ بحظ أوفر من الضوء والهواء . وتوصف الأوراق ذوات الأعناق بأنها معنقة (Petiolate or Stalked) ، أما التي لا أعناق لها فتسمى أوراقا جالسة (Sessile) ، والأوراق المعنقة أكثر انتشارا بين ذوات الفلقتين من الأوراق الجالسة ، أما في ذوات الفلقة الواحدة فالأوراق عادة جالسة .

نصل الورقة :

(شكل ٤٠)

(Leaf blade or lamina)



جزء من ساق البولجوم (من نبات
النصيلة الحماضية) بين الأذينة الغمدية .

نصل الورقة هو الجزء الأخضر المفلطح ، الذي يحمله العنق في طرفه البعيد من الساق ، ووظيفته الأساسية البناء الضوئي ، فهو لذلك يؤدي الدور الأول في تجهيز غذاء النبات الأخضر ، ذلك الغذاء الذي يعتمد عليه النبات بطريق مباشر والحيوان بطريق غير مباشر .

ويتكون النصل في بعض الأوراق من قطعة واحدة غير منقسمة ، وتسمى الورقة في تلك الحالة ورقة بسيطة (Simple) ، وفي البعض الآخر ينقسم النصل إلى عدة أجزاء منفصلة انفصالا تاما ، فتوصف الورقة بأنها مركبة

(Compound) ، ويسمى كل جزء من أجزاء نصلها المنقسم وريقة (Leaflet) ، ويختلف عدد الوريقات في النباتات المختلفة ، فهناك مثلاً وريقتان لكل ورقة من أوراق الرطريط (Zygophyllum coccineum) ، وثلاثة في السبرسيم ، وعدد كبير غير محدود في السنط (Acacia) والباركنسونيا (Parkinsonia) ،

أما الأوراق البسيطة فن أمثلتها أوراق الملوخية والتوت والخور والدورانتا والياسمين الزفر .

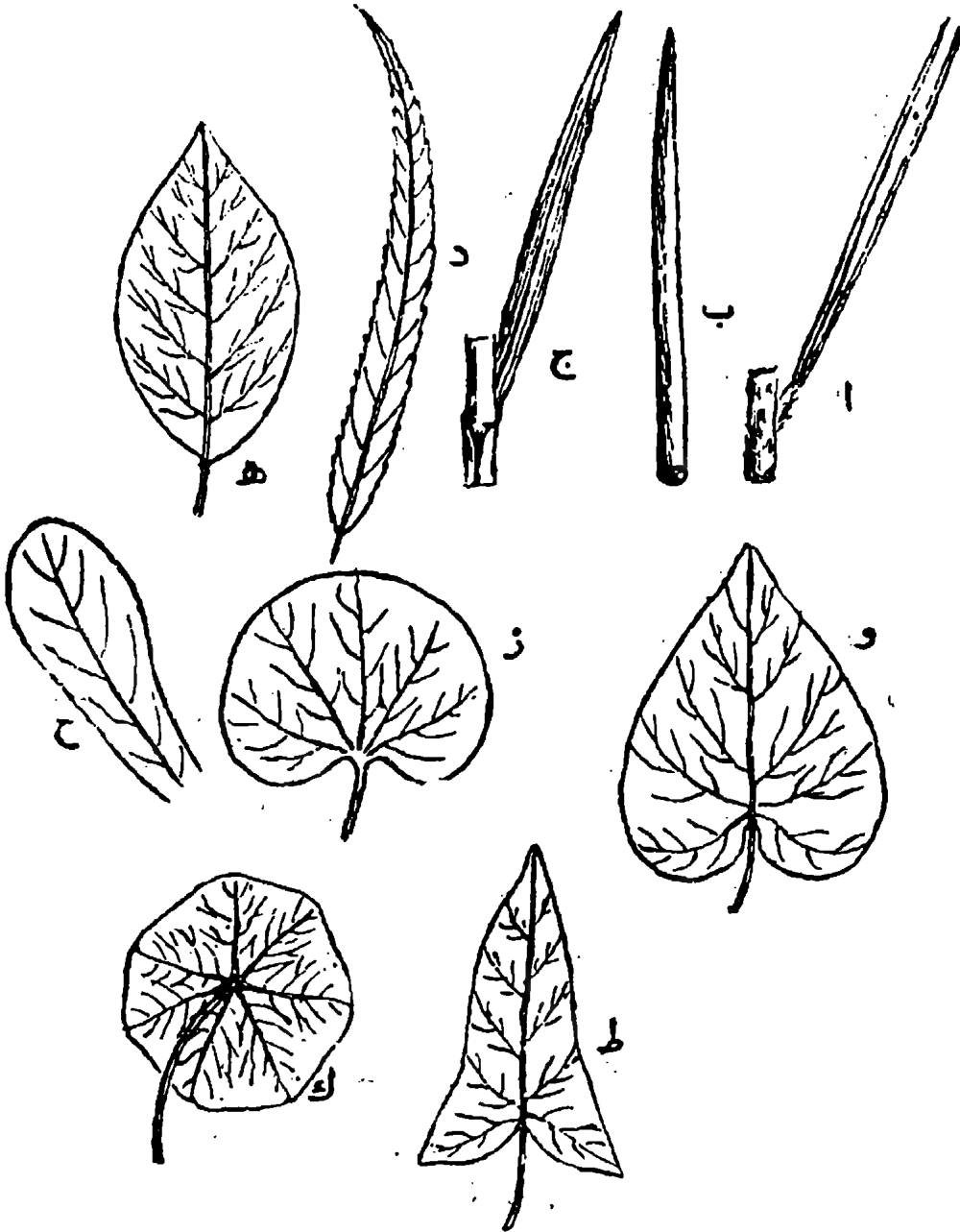
وفي بعض النباتات ينقسم النصل انقسامات عميقة بعض الشيء ، ولكنها لاتصل إلى العرق الوسطى ، وبذلك يصبح متميزاً إلى فصوص واضحة ، وتسمى الورقة في تلك الحالة ورقة مفصصة (Lobed) .

أشكال الورقة البسيطة :

للأوراق البسيطة أشكال متعددة (شكل ٤١) تختلف باختلاف النباتات ، فهناك الأوراق الإبرية (Acicular) كأوراق الصنوبر ، وهي رفيعة مستطيلة أسطوانية أو غير تامة التفلطح ، وهناك الأوراق الشريطية (Linear) كأوراق النجيليات ، مثل الذرة والنجيل والقمح والشعير ، والأوراق الأنبوبية (Tubular) كأوراق البصل ، حيث تمثل كل ورقة منها أنبوبة خضراء فارغة أما أوراق الكافور والصفصاف فهي أوراق رحيمة (Lanceolate) ، إذ أن نصلها يشبه الرمح في شكله من حيث اتساع القاعدة والتدرج في الضيق نحو القمة . ومن الأوراق ما يتخذ شكلاً بيضياً (Ovate) كأوراق الدورانتا والتين البنغالي والفيكس . ومنها ما هو قلبى الشكل (Cordate) لها قمة مدببة وقاعدة ذات فصين مستديرى الحافة يخرج العنق من بينهما ، كما في ورقة الأيومييا (Ipomoea) . ومن الأوراق البسيطة أيضاً ما هو كلوى الشكل (Reniform) . ومنها الأوراق السهمية (Sagittate) كأوراق القطبة (Sagittaria) التى تشبه السهم في شكلها ، وهي مثلثة كالحربة ولكن قاعدة نصلها ذات فصين مدبيين ، تنجه قمتاهما إلى الخلف ، وتمتد حافتاهما الخارجيتان على استقامة الضلعين . وتسمى الورقة ملعقية (Spathulate) إذا شابهت الملعقة من حيث اتساع نصابها تجاه القمة ، وضيقه تجاه القاعدة ، كما في نباتى الأقحوان (Calendula) والرجلة (Portulaca oleracea) . وهناك عدا ذلك الأوراق المزراقية (Hastate) كأوراق العليق (Convolvulus arvensis) وهي تشبه الأوراق السهمية ، ولكن الفصين الذين في مؤخرة النصل تمتد قتاها إلى الخارج على الجانبين وليس إلى أسفل كما في الأوراق السهمية ،

أما ورقة أبي خنجر (Tropaeolum) فهي ورقة قرصية (Peltate) ، لأنها مستديرة يتصل فيها العنق بمركز النصل.

(شكل ٤١)

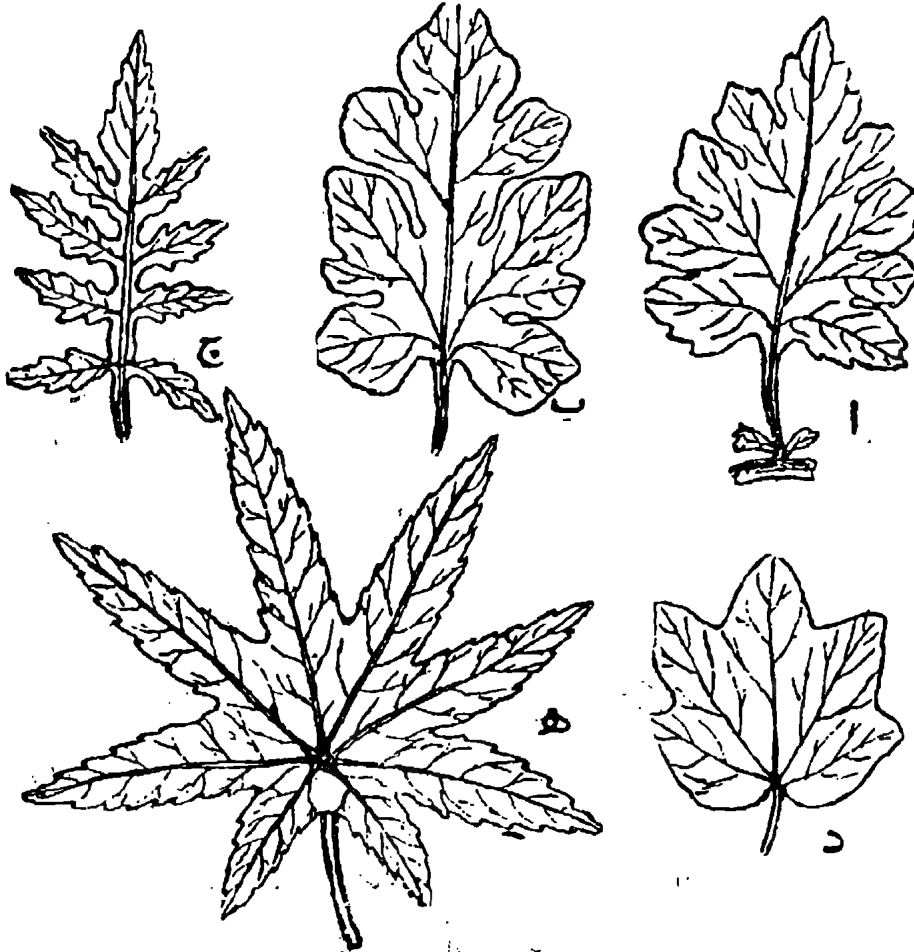


الأشكال المختلفة للأوراق البسطة (أ) ورقة إبرية، (ب) ورقة أنبوبية، (ج) ورقة شريطية ،
(د) ورقة رعبية ، (هـ) ورقة بيضوية ، (و) ورقة المبيد ، (ز) ورقة كاذبة ، (ح) ورقة ملتحمة ،
(ط) ورقة مزرازية (ك) ورقة قرصية.

أشكال الورقة المفصصة :

إذا كان انقسام النصل في الأوراق المفصصة متجهاً جانبياً نحو العرق الوسطى (شكل ٤٢ : ١ ، ب ، ج) ، فإن الورقة تسمى ريشية التفصص (Pinnately - lobed) ، أما إذا كان متجهاً نحو القاعدة - كاتجاه الفجوات التي بين الأصابع نحو راحة اليد - فإن الورقة تكون راحية التفصص (Palmately - lobed) (شكل ٤٢ : د ، هـ) ، وفي بعض النباتات يكون الانقسام غير غائر ، لا يزيد على منتصف المسافة بين حافة الورقة وعرقها الوسطى أو بين الحافة وقاعدة النصل ، فتوصف الأوراق في هذه الحالة بأنها ضحلة التفصص

(شكل ٤٢)



أشكال الورقة المفصصة . (١) ورقة السكريزانثيم (ضحلة التفصص الريشي) ، (ب) ورقة الخنظل (عميقة التفصص الريشي) ، (ج) ورقة الحشيش (مشرحة التفصص الريشي) (د) ورقة الضطبية (ضحلة التفصص الراحي) ، (هـ) ورقة الخروع (عميقة التفصص الراحي) .

الريشي (Pinnatifid) ، كما في الكريزانشم (Chrysanthemum) شكل (٤٢ : ١) ، أو ضحلة التفصص الراجي (Palmatifid) ، ومن أمثلتها الحبيزة (Malva parviflora) والخطمية (Althaea) شكل (٤٢ : د) . أما إذا زاد الانقسام عن نصف العمق - كما في أوراق الخنظل (شكل ٤٢ : ب) والخروع (شكل ٤٢ : هـ) - فإن الأوراق يقال لها عميقة التفصص الريشي (Pinnatipartite) أو عميقة التفصص الراجي (Palmatipartite) على التوالي . وهناك نباتات كالحشخاش (شكل ٤٢ : ج) وأحد أنواع الأيوبويا (Ipomoea palmata) يبلغ الانقسام في أوراقها عمقاً كبيراً حتى يكاد يصل إلى العرق الوسطى أو قاعدة النصل ، وتسمى أوراق هذه النباتات مشرحة التفصص الريشي (Pinnatisect) أو الراجي (Palmatisect) ، وفي أوراق بعض النباتات - كالفجل والجرجير والجعضيض - يتخذ التفصص الريشي شكلاً خاصاً ، من شأنه أن يقع أكبر الفصوص في قمة النصل وأن تتدرج بقية الفصوص في الصغر كلما قاربت القاعدة .

وفي نباتات أخرى كنبات «هيو سيرس» (Hyoseris lucida) ، وهو من النباتات المنتشرة بكثرة في منطقة مريوط وفي الشريط الساحلي بالصحراء الغربية ، توجد أوراق ضحلة التفصص الريشي ، ولكن فصوصها متساوية تقريباً وتتجه إلى الخلف بشكل منتظم .

أشكال الورقة المركبة :

هناك نوعان رئيسيان من الأوراق المركبة (شكل ٤٣) . يختلفان تبعاً لطريقة اتصال الوريقات بمحور الورقة :

(أ) أوراق مركبة راجية (Compound palmate leaves) : تنصل فيها جميع الوريقات بعنق الورقة مباشرة عند نهايته ، ولذلك تبدو كأنما خرجت جميعها من موضع واحد ، كما تخرج الأصابع من راحة اليد ، ومن أمثلتها الأرابيا والتمس .

(ب) أوراق مركبة ريشية (Compound pinnate leaves) : تتصل فيها الوريقات بمحور طولى في وسط النصل ، وتكون مرتبة على جانبيه كترتيب شعيرات الريشة على جانبي محورها ، ومن هنا جاءت تسميتها « ريشية » ، ويمتد محور الورقة المركبة على استقامة العنق ، ويقابل من حيث الموضع العرق الوسطى (العبر) في الورقة البسيطة ، ويحمل الوريقات متقابلة على جانبيه على مسافات تختلف طولاً وقصراً باختلاف النباتات . ومن أمثلة الأوراق الريشية المركبة أوراق اللبخ والبسلة والفلول .

وتنتهى بعض الأوراق الريشية المركبة بوريقة واحدة في طرف المحور ، وتسمى في هذه الحالة أوراقاً ريشية فردية (Imparipinnate) ، ومن أمثلتها أوراق الورد والتكوما (Tecoma) . وفي نباتات أخرى تنتهى الورقة المركبة بوريقتين متقابلتين على جانبي قمة المحور ، وتسمى أوراقاً ريشية زوجية (Paripinnate) ، ومن أمثلتها أوراق السنامكى (Cassia acutifolia) ، وهناك نباتات كاللبخ والبوانسيانا (Poinciana) ، تكون أوراقها مركبة ريشية تتجزأ فيها الوريقات وينقسم نصلها إلى عدة أجزاء منفصلة ، تنتظم على أفرع المحور الرئيسى . وتعرف بالرويشات (Pinnules) ، كما تعرف الوريقات نفسها بالريشات (Pinnae) ، وتسمى الأوراق في هذه الحالة ريشية متضاعفة (شكل ٤٣ : ج) ، فإذا كانت الرويشات محمولة على محاور من الدرجة الثانية سميت هذه الأوراق المتضاعفة ريشية ثنائية (Bipinnate) ، أما إذا كانت محمولة على محاور من الدرجة الثالثة — كما في بعض السراخس — فإنها تسمى ريشية ثلاثية (Tripinnate) .

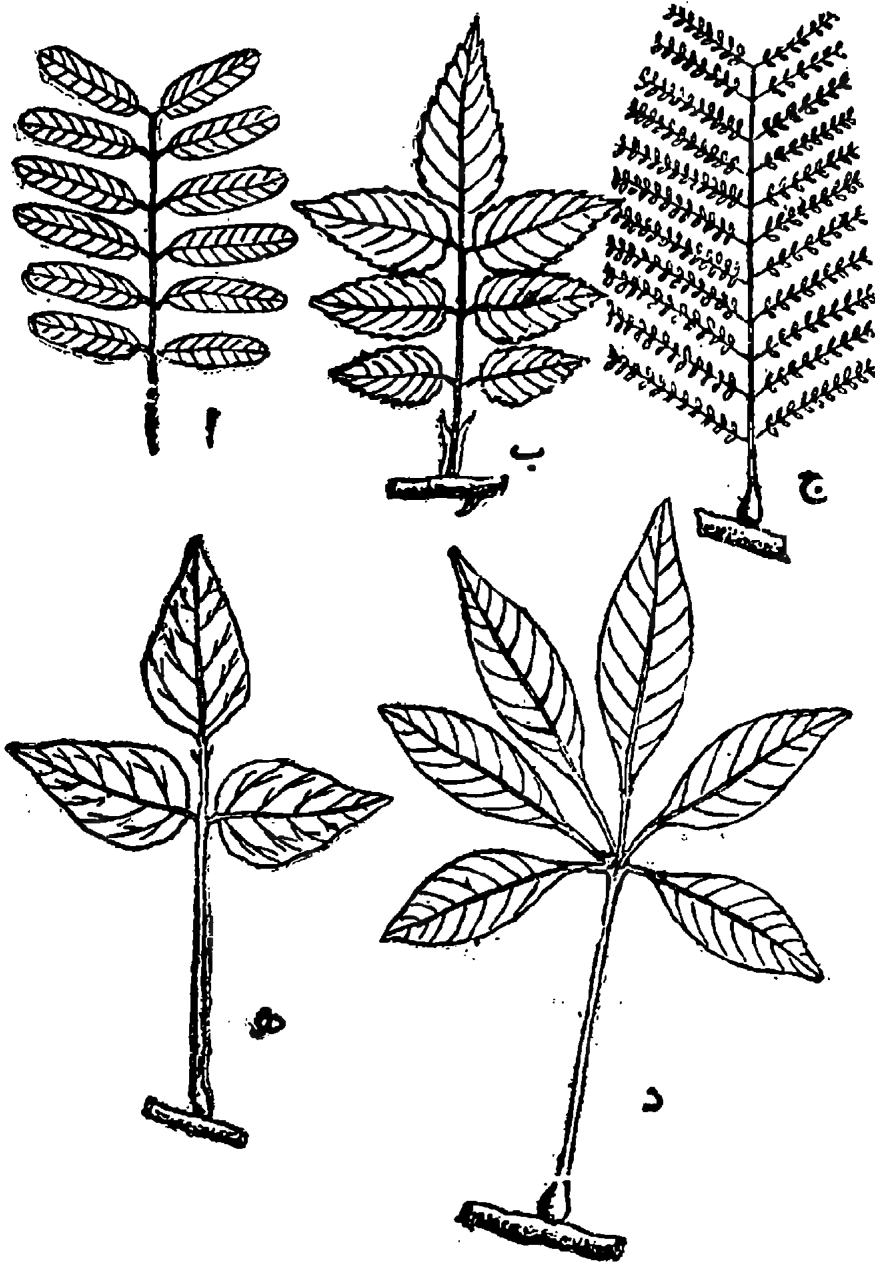
وفي بعض النباتات تتكون الأوراق الريشية المركبة من ثلاث وريقات فحسب ، كما في البرسيم والفاصوليا وغيرها (شكل ٤٣ : هـ) .

وفي كثير من أنواع الموالح — كالبرتقال والليمون والنانج وغيرها (شكل ٤٤) — توجد أوراق ذات نصل بسيط وعنق مجنح ، بينهما مفصل صغير ، ويعتبر الكثيرون وجود ذلك المفصل دليلاً على أن أوراق الموالح هي في حقيقة أمرها أوراق مركبة ، ريشية فردية ، ذات ثلاث وريقات ، قد نمت

فبها الورقة الطرفية نمواً طبيعياً بينما ضممت الوريقتان الأخريان وتحورتا إلى جناحين في قمة العنق .

وتلتبس الأوراق المركبة مع الفروع الحضرية أحياناً على الفاحص غير

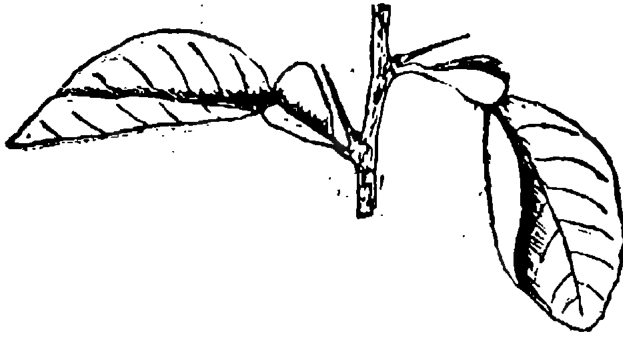
(شكل ٤٣)



أشكال الورقة المركبة : (أ) ورقة السامكي (مركبة ريشية زوجية) ، (ب) ورقة الورد (مركبة ريشية فردية) ، (ج) ورقة البوانسبانا (مركبة ريشية متضاعفة) ، (د) ورقة الأكراليا (مركبة راحية) ، (هـ) ورقة مركبة ثلاثية .

المدقق ، بيد أن هناك فروقا يمكن بها تمييز الورقة المركبة بسهولة ، منها أن لها برعماً في إبطها ، بينما الوريقة لا برعم لها . وليس للورقة المركبة برعم

(شكل ٤٤)



جزء من نبات النارجيس بين الأوراق ذوات الأعناق الملتصقة والأوراق القاعدية للفروع الإبطية وقد تحورت إلى أشواك

طرفي ، أما الفرع

فينتهي ببرعم ، كذلك

تحمل الأوراق المركبة

في بعض النباتات أذنين

عند قاعدتها ، كما في

الورد وفي كثير من

نباتات الفصيلة القرنية .

قمة الورقة

(Leaf apex) :

تختلف قمة النصل في الورقة أو الوريقة من نبات لآخر ، كما يتضح من

(شكل ٤٧) ، فتكون أحياناً حادة أو مدببة (Pointed or acute) إذا

انتهت بسن مدبب غير مستطيل ، ولم يكن هناك تقعر في حافة الورقة على

الجانبين خلف هذا السن المدبب (شكل ٤٥ : ج) كما في الملوخية . وتسمى

القمة مستدقة (Acuminate) إذا كانت مدببة ومستطيلة قليلاً ، بحيث تتقعر

حافة النصل خلفها (شكل ٤٥ : ب) كما في السرسوع (Dalbergia sisso)

وفي بعض النباتات كما في أحد أنواع الفيكس (Ficus religiosa) ، يزيد

طول الجزء المدبب من القمة كثيراً بحيث تبدو كذنب طويل ، وتوصف

قمة الورقة في هذه الحالة بأنها مستدقة مذنبية (Caudate) ، وهناك القمة

المستديرة التي لا تدبب فيها (شكل ٤٥ : د) كما في وريقات اللبخ والبوانسيانا

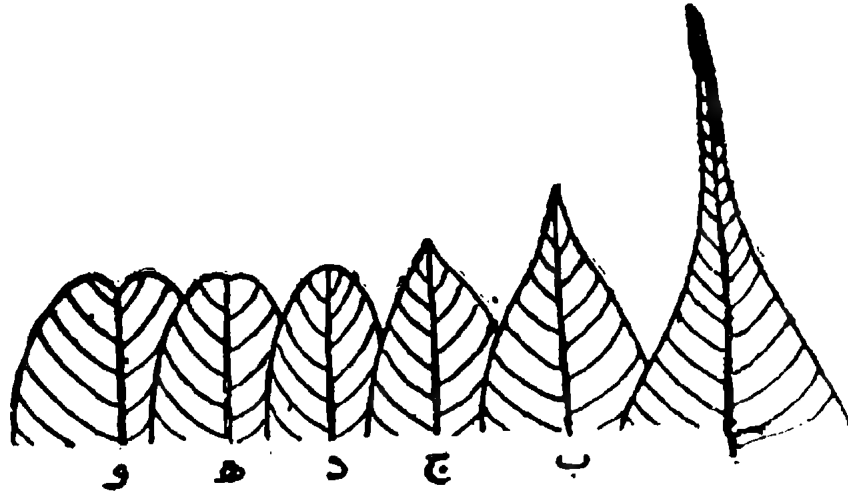
وأوراق الفيكس نيتيدا (Ficus nitida) . وأخيراً توجد أوراق ذات قمم

غاثة أو مقلوبة (شكل ٤٥ : هـ ، و) كأوراق الحماض (Oxalis) ، وفي

هذه الأوراق تنخفض القمة قليلاً عن مستوى الحافة في أعلى الورقة .

حافة الورقة (Leaf margin) :

يختلف أيضاً شكل الحافة اختلافاً كبيراً في أوراق وريقات النباتات

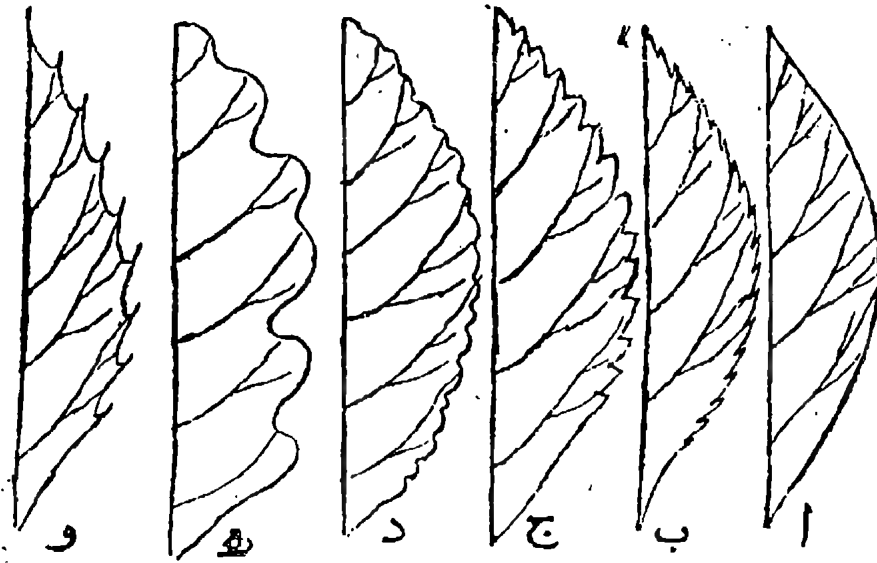


أشكال ثمة الورقة: (أ) مشطية، (ب) مقروضة، (ج) متعرجة، (د) مفصصة، (هـ) مركبة، (و) مخارطة.

المختلفة ، ففي بعض النباتات تكون الحافة مستوية خالية من النتوءات (شكل ٤٦ : أ) وأحياناً — كما في أوراق الورد والموخية — توجد بالحافة نتوءات حادة منتظمة ، قممها تتجه إلى الأمام كأسنان المنشار (شكل ٤٦ : ب) وتوصف هذه الحافة بأنها منشارية (Serrate) . وفي نبات الدورانتا — وكثير غيره — توجد نتوءات منتظمة في حافة الورقة ، ولكن تكون قممها متجهة جانبياً ، متعامدة على الحافة ، وليست إلى الأمام (شكل ٤٦ : ج) ، فهي لذلك تشبه الأسنان ، وتسمى الحافة مسننة (Toothed or Dentate) .

وفي بعض النباتات كالتوت (*Morus alba*) تكون النتوءات صغيرة مستوية القمة (شكل ٤٦ : د) ، فتوصف الحافة في تلك النباتات بأنها مقروضة (Crenate) ، وأحياناً تكون تضاريس الحافة غائرة بعض الشيء متموجة غير منتظمة العمق والحجم ، كما في أوراق البلوط (*Quercus*) — (شكل ٤٨ : هـ) — وتسمى الحافة في تلك الحالة متكيسة «متعرجة» (Sinuate) ، وفي أوراق البربري (*Berberis*) وشوك الجمال (*Echinops spinosissimus*) توجد بالحافة أسنان حادة مدببة الأطراف كالأسواك (شكل ٤٦ : و) ولذلك توصف بأنها شوكية (Spiny) .

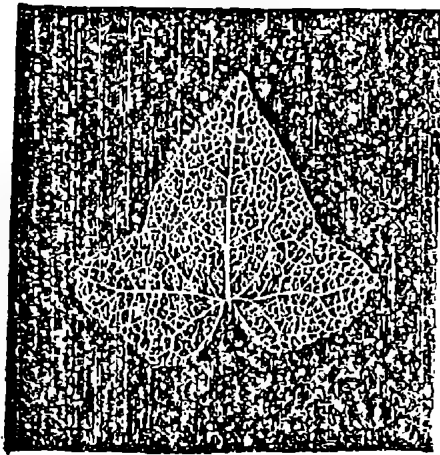
(شكل ٤٦)



أشكال حافة الورقة : (أ) كاملة ، (ب) منشارية ، (ج) مسننة ، (د) مفروصة ،
منعرجة ، (و) شوكية .

تعرق الورقة (Leaf venation) :

يفتشر في نصل الورقة ويتخلل أنسجتها جهاز توصيلي ، قوامه مجموعة من العروق ، تمثل امتدادات للحزم الوعائية التي بالساق ، وتنقل هذه العروق إلى الورقة ما تحتاج إليه من عصارة نيئة ، كما تنقل منها العصارة المجهزة إلى الساق والجذور والأزهار والثمار ، فتغذيها . (شكل ٤٧)



وإنتشار العروق وتشعبها في سائر أجزاء النصل يكسبه قوة ومثانة ، لما تحويه من أنسجة ملابنة قوية . ويساعده وجود ذلك الهيكل الدعائي (شكل ٤٧) على أن يظل مفلطحاً منبسطاً رغم رقيقته ، وفي إحتفاظه بتقاطعه ضماناً لاستمرار تعرضه للضوء والهواء ، وعون له على تأدية وظيفة البناء الضوئي على أكمل وجه .

التعرق الشبكي في ورقة من أوراق نبات ذى ناقتين ، وتكون العروق ميلا دعاميا داخل أنسجة الورقة بمعظمها من التمدل .

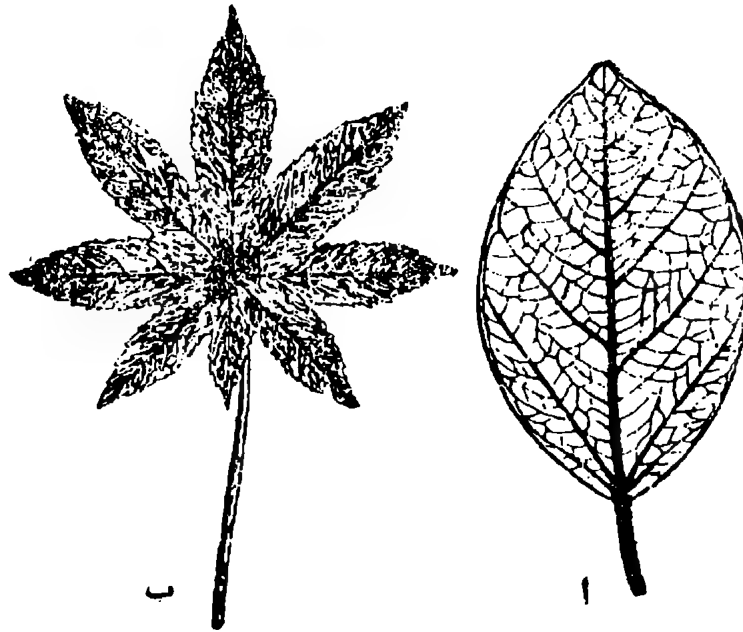
ويتميز في وسط الورقة عرق كبير ، يمتد على إستقامة العنق من قاعدة النصل إلى قته ، ويبرز عادة على السطح السفلى قليلا ، كما يكون تجويفاً غائراً نوعاً ما على السطح العلوى ، ويدق بالتدرج كلما اقتربت قمة النصل ، ويعرف هذا العرق الرئيسى بالعرق الوسطى أو العبر (Midrib) .

وهناك نوعان من التعرق :

١ (أ) التعرق الشبكي (Reticulate venation) :

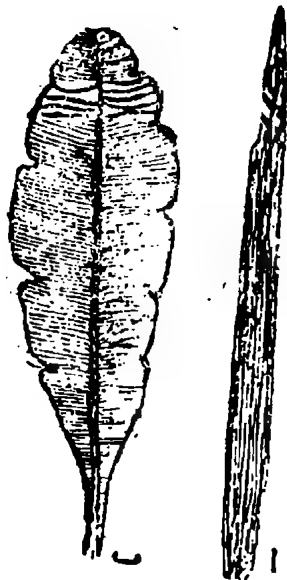
وقد اختصت به نباتات ذوات الفلقتين ، ويندر وجوده في ذوات الفلقة الواحدة . وفي هذا النوع من التعرق (شكل ٤٨) تخرج من العبر - أو العروق الرئيسية - عروق جانبية (Lateral veins) تمتد تجاه حافة الورقة بميل إلى الأمام. ثم تتفرع بدورها إلى عريقات دقيقة (Veinules) ، تتشعب في كل اتجاه ، وتتلاقى مكونة شبكة متصلة .

و التعرق الشبكي إما أن يكون ريشياً (شكل ٤٨ : أ) وإما أن يكون راحياً (شكل ٤٨ : ب) ، ويحدث التعرق الريشى في معظم الأوراق البسيطة وورقات الأوراق المركبة ، وكذلك في الأوراق ذات التفصص الريشى . وفي هذا النوع من التعرق يوجد عرق رئيسى واحد - هو العبر - تخرج منه على التابع عروق جانبية على الناحيتين . ويغلب هذا النوع في ذوات الفلقتين ، ومن أمثله أوراق الفيكس والملوخية وورقات الورد والفل . أما التعرق الراحى فيحدث في الأوراق راحية التفصص ، ويندر حلوه فيما عداها من أوراق ذوات الفلقتين ، وفيه يوجد أكثر من عرق رئيسى واحد ، يمتد من قاعدة النصل إلى قته ، وتلتقى جميع العروق الرئيسية في موضع واحد عند قاعدة النصل أو قمة العنق ، كما تلتقى الأصابع في راحة اليد ومن أمثلة الأوراق ذات التعرق الراحى ورقة الخروع (شكل ٤٨ : ب) وورقة العنب (شكل ٢٣) ، وتوصف الأوراق ذات التعرق الريشى بأنها « ريشية التعرق » (Pinnately-veined) ، كما توصف الأوراق ذات التعرق الراحى بأنها « راحية التعرق » - (Palmately-veined) .



انواع التعرق الشبكي : (١) ورقة انفيكس تبين التعرق الشبكي الربيعي ، (ب) ورقة الخروع تبين التعرق الشبكي الراجحي .

(ب) التعرق المتوازي (Parallel venation) : وهو الغالب في ذوات الفلقة الواحدة ، وفيه تكون العروق الظاهرة متوازية ، وقد يكون التعرق المتوازي طويلاً - وهو الغالب - إذا كانت العروق الجانبية موازية لحافة الورقة (شكل ٤٩)

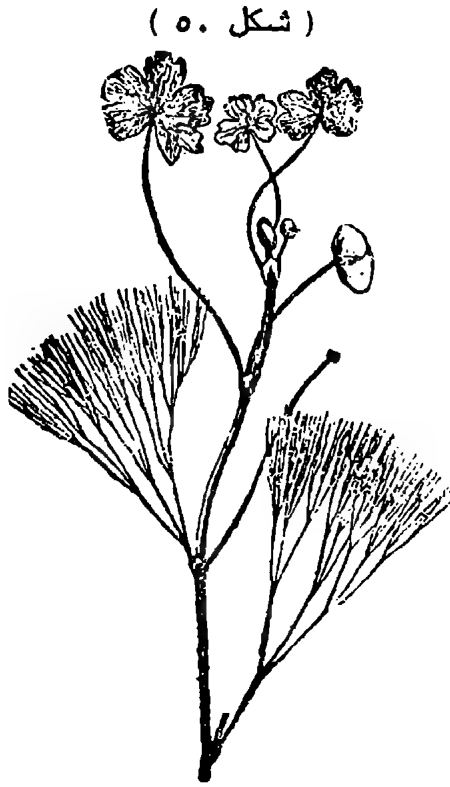


وللعرق الوسطى وممتدة من قاعدة النصل إلى قته كما في أوراق الشعير (شكل ٤٩) والقمح والذرة وغيرها من النجيليات ، أو يكون مستعرضاً إذا خرجت العروق الجانبية من العرق الوسطى وتعامدت عليه ، وإمتدت أفقياً إلى الحافة بحيث يوازي بعضها بعضها ، ومن أمثلة هذا النوع من التعرق أوراق الموز (شكل ٤٩ : ب) .

التباين الورقي :

يحمل كل نبات عادة نوعاً واحداً من الأوراق ، يميزه عن

التعرق المتوازي : (١) ورقة الشعير تبين التعرق المتوازي الطولي ، (ب) ورقة الموز تبين التعرق المتوازي المستعرض .



جزء من نبات الأبقوان الاثني
يحمل نوعين من الأوراق أحدهما بطفر ووق
سطح الماء والآخر إلى الجزء والآخر مغمور
للا وهو مغمور. نهر، أشيد إلى الخيط رفيعة.

غيره من النباتات، يبدأ أن هناك نباتات
يحمل كل منها أكثر من نوع واحد
من الأوراق، وتعرف هذه الظاهرة
بالتباين الورقي (Heterophylly) ،
وتحدث كثيراً في النباتات المائية بنوع
خاص ، كنبات الأبقوان المائي
(*Ranunculus aquatilis*) ، إذ يحمل
هذا النبات نوعين من الأوراق ،
مغمورة وطافية. أما الأوراق المغمورة
فمجزأة النصل بغزارة إلى أجزاء
رفيعة كالخيوط (شكل ٥٠) ،
أما الأوراق الطافية فعريضة النصل
نسبياً قليلة التجزؤ. وفي نبات القطن
يحمل النبات الصغير أوراقاً بسيطة
قلبية الشكل مستوية الحافة ، وأما

النبات البالغ فيحمل أوراقاً راحية التفصص. وكذلك في نبات القبول تختلف
الأوراق الأولية من وجوه كثيرة عن الأوراق التي ينتجها النبات البالغ ،
كما سبق وذكرنا في الباب الثالث .

عمر الورقة :

تعيش الورقة فترة وجيزة إذا قورنت بالنبات الذي تحملها . معظم
الأوراق لا تعمر أكثر من فصل نمو واحد ، تجف بعده وتسقط ، وتنقسم
النباتات من هذه الوجهة عادة إلى قسمين : نباتات دائمة الخضرة (Evergreen) ،
وهي التي تحتفظ بأوراق خضراء طوال العام ، كأشجار الكافور والموالح ،
ونباتات متساقطة الأوراق (Deciduous) وهي التي تسقط أوراقها في
الخريف والشتاء ، وتكون أوراقاً جديدة في الربيع التالي تستمر إلى نهاية
الصيف ، كالتوت والحوار . وليس معنى دوام الخضرة في نباتات القسم

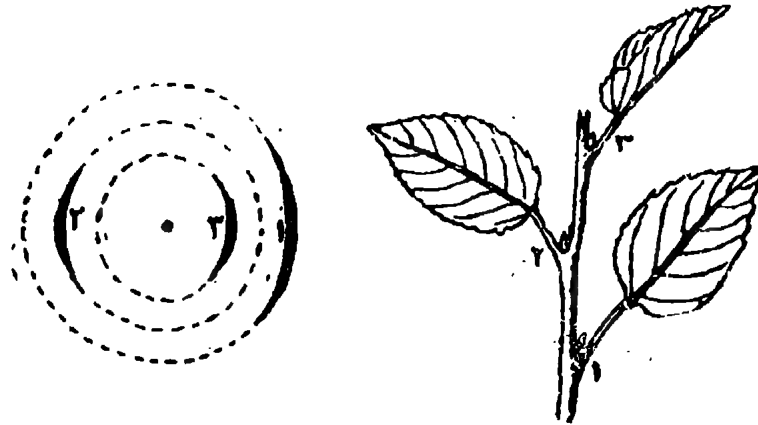
الأول أن الأوراق الخضراء تعمر طول حياة النبات ، ولكن معناه أنها لا تسقط جميعها في وقت واحد ، إذ أن لكل ورقة عمراً محدوداً ، قد يكون فصل نمو واحد أو أكثر ، ولكن فترة الحياة يختلف تاريخها في الأوراق المختلفة ، فهي تسقط وتتكون في أوقات متباعدة .

على أن الأوراق الخضراء تظل على النبات فترة أطول في المخروطيات (Conifers) - وهي قسم من أقسام النباتات عاريات البذور كالصنوبر - منها في النباتات كاسيات البذور . وفي أحد النباتات معراة البذور ، وهو نبات « ولوتشيا » (Welwitschia) ، توجد ورقة واحدة يحملها النبات طول حياته التي قد تمتد إلى مائة عام .

توزيع الأوراق على الساق (Leaf arrangement) :

في بعض النباتات ، كالفجل والجزر ولسان الحمل (Plantago) تكون الساق قصيرة قزمية ، وتخرج الأوراق في مجموعة فوق الجذر الوتدي قرب سطح الأرض ، وتسمى لذلك أوراقاً جذرية (Radical leaves) . وفي نباتات أخرى - كالملوخية والفول - تكون الساق طويلة ، وتخرج منها الأوراق على التعاقب ، تفصلها سلاميات واضحة وطويلة نسيياً ، ولذلك تظهر متفرقة بعيدة عن الجذر وليست في مجموعات . وتعرف بالأوراق الساقية (Cauline) .

وتتوزع الأوراق الساقية على الساق في ترتيب يختلف باختلاف النباتات ، ففي كثير منها تخرج ورقة واحدة من كل عقدة ، وتبادل الأوراق المتعاقبة الموضع على محيط الساق ، حتى لا يظل بعضها بعضاً (شكل ٥١) ، ويسمى التوزيع في تلك الحالة توزيعاً متبادلاً (Alternate arrangement) ، ومثال ذلك الفول والملوخية والقطن . وفي نباتات أخرى تخرج ورقتان متقابلتان من كل عقدة ، فيسمى التوزيع متقابلاً "Opposite" ، كما في الياسمين الزفر (Clerodendron) ، وفي هذه الحالة تكون الأزواج المتعاقبة غالباً في مستويات متعامدة ، بحيث إذا اتجهت الورقتان المتقابلتان في إحدى العقد



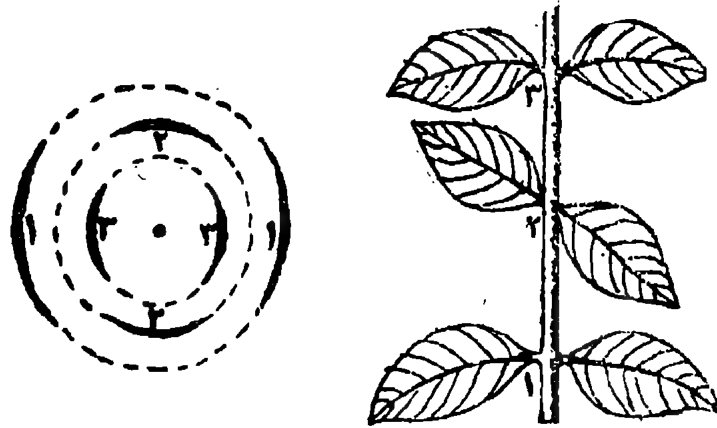
على اليمن فرع يحمل أوراقاً وضعها متبادل ، وعلى اليسار مسقط يبين الانتراف الزاوى للأوراق (٢/١) .

شرقاً وغرباً ، اتجهت الورقتان اللتان تليانهما من أعلى ومن أسفل ناحية الشمال والجنوب ، فيقال للأوراق إذ ذاك إنها متقابلة متصالبة (Opposite decussate) شكل ٥٢ ، وأحياناً تخرج الأوراق من العقد في محيطات سوارية ، في كل محيط ثلاثة أوراق أو أكثر ، موزعة حول الساق عند العقد ، ويسمى نظام توزيع الأوراق في تلك الحالة نظاماً محيطياً أو سوارياً (Whorled or Verticillate) ، كما في أوراق الدفلة (Nerium oleander) (شكل ٥٣) .

ويلاحظ في حالات التوزيع المتبادل أننا لو بدأنا من أية ورقة على الساق ، وبحسنا عن الورقة التي تقع فوقها مباشرة ، وعددنا السلاميات التي تفصل الورقتين ، ثم أمررنا بعد ذلك خيطاً حول قواعد الأوراق الواقعة بينهما ، وعددنا اللفات الكاملة حول المحيط فإننا نلاحظ أن نسبة عدد اللفات إلى عدد السلاميات ثابتة في النوع الواحد من أنواع النباتات ، وتعبّر هذه النسبة عن الجزء من محيط الساق الذي يفصل بين ورقتين متتاليتين ، وتعرف بالافتراق الزاوى (Phyllotaxis) أو (Leaf divergence) .

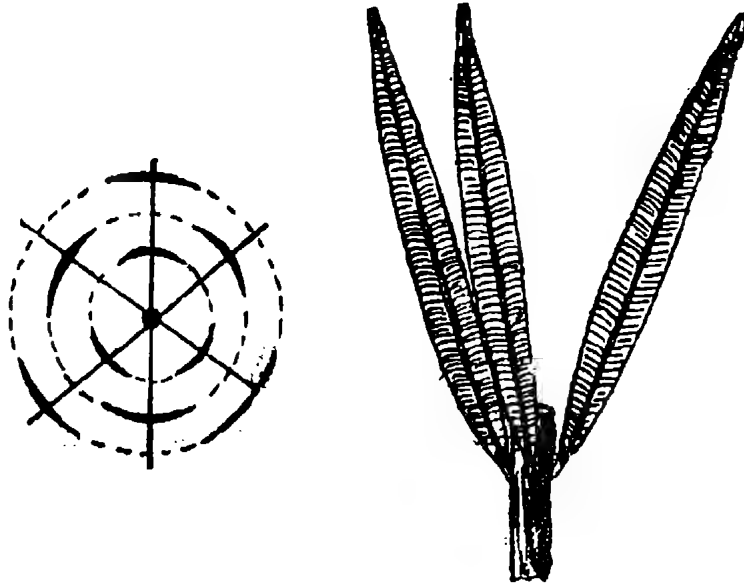
ويمكن توضيح الافتراق الزاوى وقياسه بعمل مسقط في ساق نبات بالغ (شكل ٥٤) أو قطاع مستعرض في برعم خضري ، وتمثل النقطة التي في

(شكل ٥٢)



على البين فرع يحمل أوراقاً متعاقبة ، متعاقبة ، وعلى البسار مسقط بين الانراف الزاوى (٦) .
شوارية ، في كل محيط ثلاثة أوراق أو أكثر ، موزعة حول الساق عند العقد ،
ويسمى نظام توزيع الأوراق في تلك الحالة نظاماً محيطياً أو شوارياً
(Whorled or Verticillate) ، كما في أوراق البقلة (*Nerium oleander*)

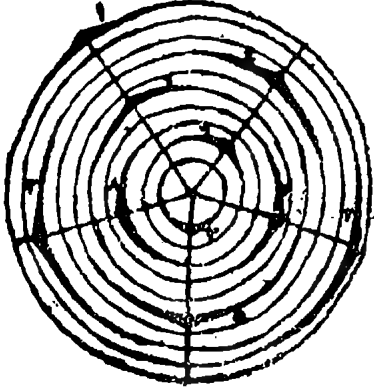
(شكل ٥٣)



على البين جزء من فرع من نبات البقلة يحمل أوراقاً محيطية وعلى البسار
مسقط بين الانراف الزاوى (٦)

مركز المسقط قمة الساق ، كما تمثل الدوائر العشر الخيطة بهذه النقطة عشر
عقد ، وأصغر الدوائر تمثل أقرب العقد إلى قمة الساق ، وأكبرها - وهي
الخارجية - تمثل أبعد العقد عن القمة . ويتضح من (شكل ٥٤) أن الورقة
(م٧ - النبات العام)

رقم ١ تقع أسفل الورقة رقم ٦ مباشرة . كما تقع الورقة رقم ٢ أسفل رقم ٧ ،
الورقة رقم ٣ أسفل الورقة ٨ ، وهكذا ، أى أن هناك خمس سلاميات تفصل
(شكل ٥٤) كل ورقة عن الورقة التي فوقها مباشرة .



مسقط لفرع يبين الانزياح الزاوى .

فإذا علمنا أننا ندور حول محيط الساق
مرتين كاملتين لكي نصل من أى ورقة
إلى الورقة التي فوقها ، فإن الانزياح
الزاوى فى هذه الحالة يكون مساوياً
 $\frac{1}{2}$. وفى معظم ذوات الفلقتين تكون
النسبة $\frac{1}{2}$ أو $\frac{3}{8}$ ، وفى النادر تكون
 $\frac{1}{3}$ (شكل ٥٤) أو $\frac{1}{4}$.

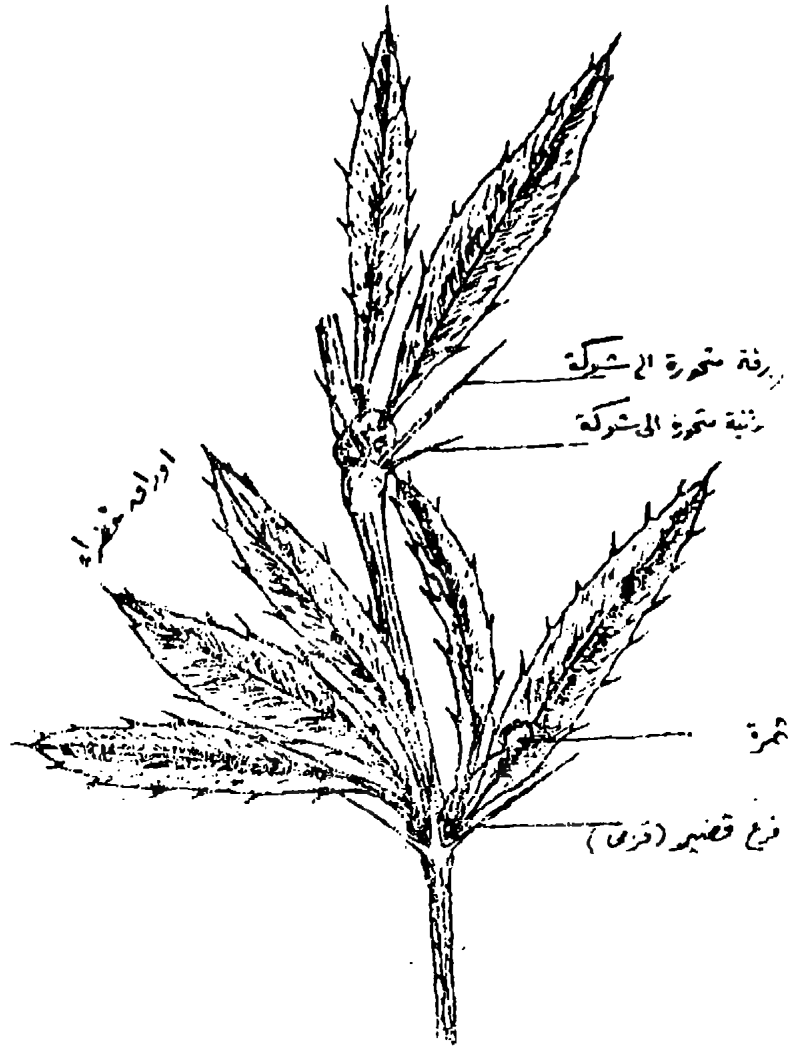
الأوراق المتحورة (Metamorphosed leaves) :

الأصل فى الورقة أنها تنوء من الساق ، أخضر اللون عريض مفلطح ،
وظيفتها الأساسية هى البناء الضوئى ، إلا أن شكل الورقة جميعها أو بعض
أجزائها يتحول فى بعض النباتات لتأدية وظائف خاصة ، وأهم هذه التحورات
ما يأتى :

١ - تتحول الورقة إلى شوكة فتصبح مدببة القمة ، وفى ذلك حماية
للنباتات من حيوانات الرعى وغيرها ، كما فى نبات البربرى (شكل ٥٥) .
وتوجد فى النبات الأخير شوكة ذات ثلاث شعب عند كل عقدة من عقد
الفروع الطويلة تمثل الورقة المتحورة ، أما فى الموالح - كالبرتقال والنانج
(شكل ٤٦) - فتعتبر الشوكة أولى أوراق الفرع الإبطى .

٢ - تتحول الأذينات أحياناً إلى أشواك ، وتظل الورقة نفسها لخصوية
عادية كما فى النبق والسنبط (شكل ٥٦) . وفى نبات الباركنسونيا (Parki-
nsonia) - شكل ٥٧ - توجد أذينات شوكية ، ويتدبب محور الورقة
المركبة فى جزئه الطرفى ويتحول إلى شوكة .

(شكل ٥٥)

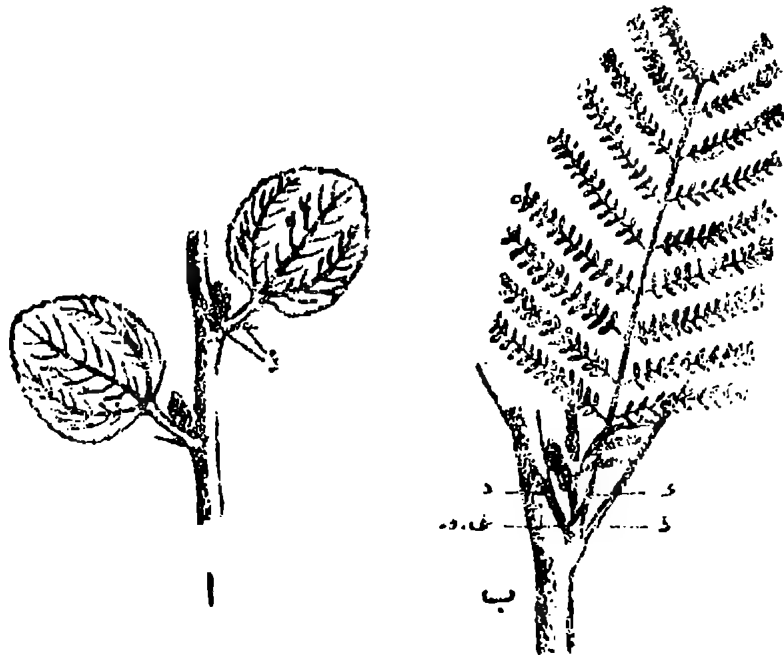


جزء من نبات البربري بين تمحورات الأوراق التي على الفروع الطويلة إلى أشواك .

٣ - تتحور الورقة إلى معلاق للتسلق ، كما في نبات حمام البرج (Lathyrus aphaca) . وفي هذا النبات تكبر الأذنين في الحجم لتؤدي وظيفة التمثيل عوضاً عن الورقة المتحورة ، أي أنهما تنحوران إلى عضوين ورقين (شكل ٥٨ : أ) .

٤ - تتحور الوريقات في الورقة المركبة إلى معاليق للتسلق ، كما في نبات بسلة الزهور (شكل : ٥٨ ب) . وفي هذا النبات أيضاً تكبر الأذنين وتنفطح ، وتصبح ورقية لتؤدي وظيفة التمثيل ، بينما تظل الوريقات السفلى خضراء غير متحورة .

(شكل ٥٦)



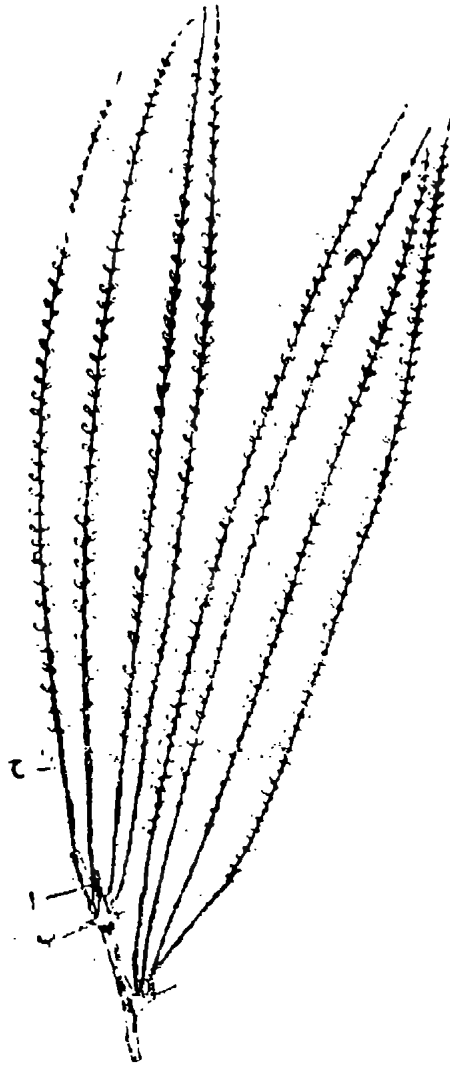
جزء من نبات النبق (١) والبط (ب) يبين تحور الأذينات إلى أشواك ، (د) أذينة ،

٥ - تتحور الأذينات في بعض النباتات إلى معاليق كما في نبات سميلاكس (Smilax) (شكل ٥٨ : ج) .

٦ - تتحور الأوراق في بعض النباتات إلى أعضاء متشعبة ، لاختران الماء أو المواد الغذائية ، مثال ذلك أوراق الأبطال التي تحتزن فيها مواد غذائية بمدخرة وأوراق الرطريط (Zygophyllum coccineum) والفاصول (Mesembryanthemum) التي تحتزن فيها الماء . والرطريط والفاصول جنسان من أجناس النباتات الصحراوية ، وورقة الرطريط (شكل ٥٩) مركبة في معظم أنواعه ، خضراء مؤذنة ذات وريقتين ، والعنق والورقتان عصيرية لاخترانها الماء ، أسطوانية الشكل .

٧ - يتفلطح عنق الورقة في بعض النباتات ، بدلاً من أن يكون أسطوانياً كما هي العادة ، ويصبح ورقياً يقوم بوظيفة التمثيل كما يحدث في بعض أنواع السنط (Acacia sp.) (شكل ٦٠) ، ويصبح هذا التحور عادة اختزال النصل ، ويسمى العنق المتحور على هذا النحو عنقاً ورقياً (Phyllode)

(شكل ٥٧)



جزء من ساق نبات الباركسوتيا بين محور الورقة الموكبة (أ) وأذيتها (ب) إلى أشواك ، ويمثل كل محور زوجين من الوريقات الريشية (ج) .

وتتخذ الأعناق الورقية غالباً وضعاً رأسياً بدل أن تمتد أفقية كالأوراق ، ويحميها ذلك عادة من الضوء الساطع والنتح الشديد .

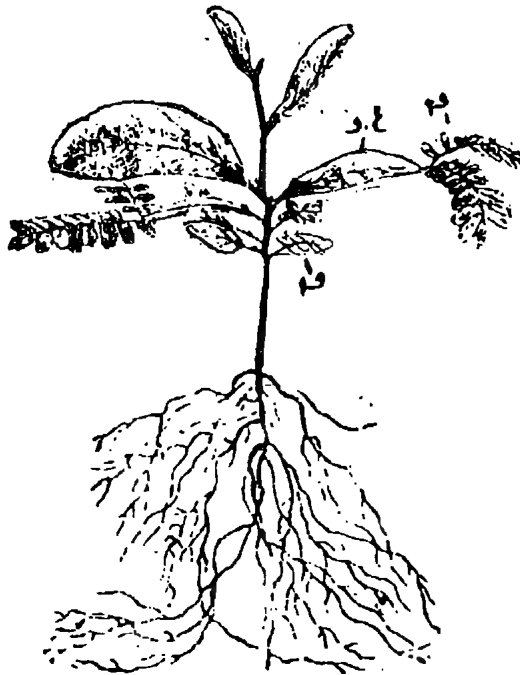
٨ - تتحوّر الأوراق في بعض النباتات إلى أشكال شتى لتؤدي أغراض التغذية الشاذة ، ومن أمثلتها أوراق النباتات آكلة اللحوم ، التي تتحوّر إلى قلوب أو تتغطى بشعور حساسة أو زوائد لاذعة لتؤدي وظيفة اقتناص الحيوان وستحدث عن بعض هذه النباتات بشيء من التفصيل .

النبشس (Nepenthes) :

في هذا النبات يتفلسح نصل الورقة عند القاعدة ويستطيل عرقها الوسطى خارج النصل ويصبح مجوفاً عند نهايته في صورة قدر له غطاء (شكل ٦١) وتفرز الورقة رحيقاً حلو المذاق يجذب الحشرات ، وعندما تدخل الحشرات القدر يتعلو عليها الخروج منه وتسقط في القاع ، ويرجع ذلك إلى التركيب الخاص

للجدار الداخلي . إذ أنه يتغطى بحراشيف عليها مادة شمعية تنزلق عليها رجل الحشرة ، وقد توجد بعض الزوائد التي تتجه إلى أسفل ، ويتجمع في قاع القدر سائل يأتي معظمه إما من ماء المطر أو تفرزه الورقة ، وتغوص الحشرة في هذا السائل وتبقى حتى تتحلل بفعل الإنزيمات ، وبذلك يسهل امتصاص بعض نواتج التحلل .

(شكل ٦٠)



بادرة أحد أنواع نبات السنت ، أوراقها
الاولى (و) ريشية والثانية (د)
ريشية ثنائية ، السكك منها عنق ورقى (ع)
(و) ووريفتان .

أيام ، وبعدها تعود الشعيرات
ببطء إلى وضعها الأصلي ،
وبذلك تتأهب لاستقبال فريسة
أخرى .

الديونيا (Dionaea) :

يتركب نصل الورقة من صمامين
يتحركان على طول العرق
الوسطى (شكل ٦٣). وينطبقان
أحدهما على الآخر عندما تلمس
الحشرة شعيرات خاصة توجد
على السطح العلوى أو الداخلى
للنصل ، وتتم هذه الحركة
بسرعة فائقة بحيث لا تستغرق

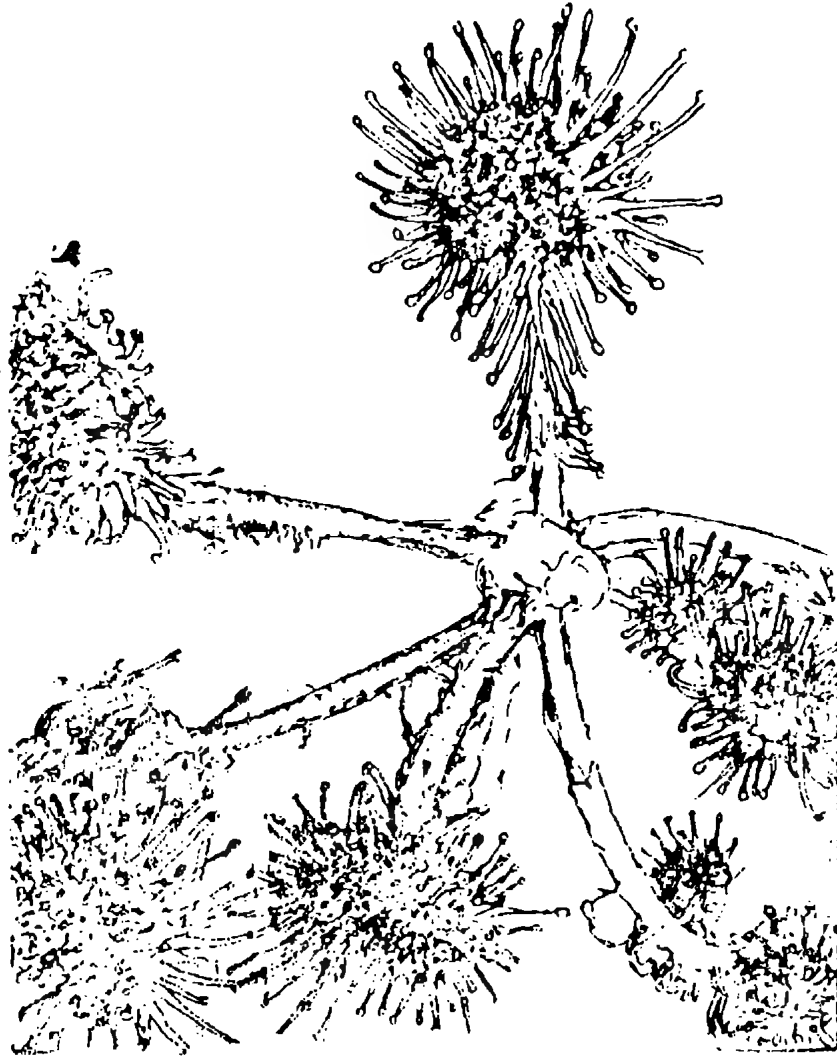
(شكل ٦١)



إلى اليسار نبات النبتة يتدل منه عدد من القدر ، واليمين هيكل يبين تركيب القدر
(من ستراوسبرجر) .

أكثر من ثانية ، وعند حافة النصل تخرج أشواك على هيئة أسنان طويلة تتعشق مع بعضها البعض عندما ينطبق نصف النصل فتمنع الفريسة من الهرب ، وبذلك تبقى الحشرة حتى تفرز الورقة الإنزيمات التي تهضمها ثم تمتص نواتج التحلل .

(شكل ٦٢)



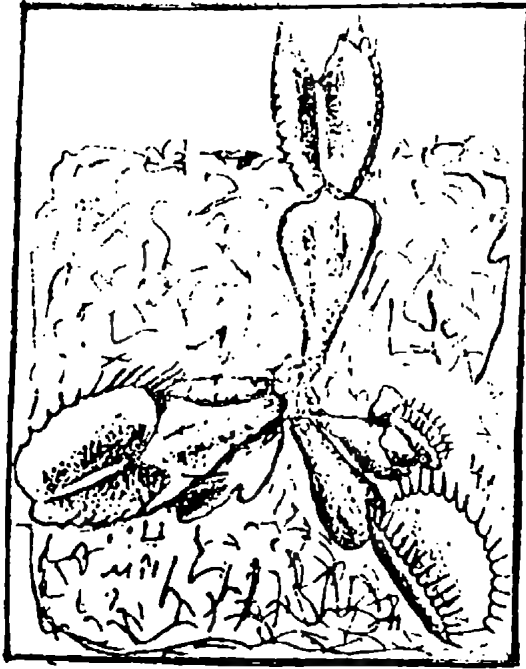
جزء من نبات الدروسيرا بين بعض الأوراق قبل التناصص المعمرة والبعض الآخر بعد التناصص .

حامل الماء (Utricularia) :

توجد أجزاء هذا النبات مغمورة في الماء ، ويحمل النبات تراكيب عديدة

تشبه الأكياس تعرف بالمشانبات (Bladders) كما في (شكل ٦٤ : أ) ،
ولكل منها فتحة ضيقة ولها باب يفتح إلى الداخل فقط (شكل ٦٤ : ب)

(شكل ٦٢)



(أبات الديونيا)

يساعد على اصطياذ الحيوانات
المائية الدقيقة ، تحاط الفتحة
وبالباب بشعيرات ، وعندما
يلامس الحيوان المائي شعيرات
خاصة تقع عند الفتحة يصبح
الباب حراً في حركته إلى الداخل ،
ومن ثم يندفع الماء بما يحمل
من كائنات داخل المثانة ،
حيث تمججز حتى تتحلل ثم
تمتص ، ويوجد على السطح
الداخلي للمثانة عدد من الشعيرات
المتشعبة .

(صور الأوراق)

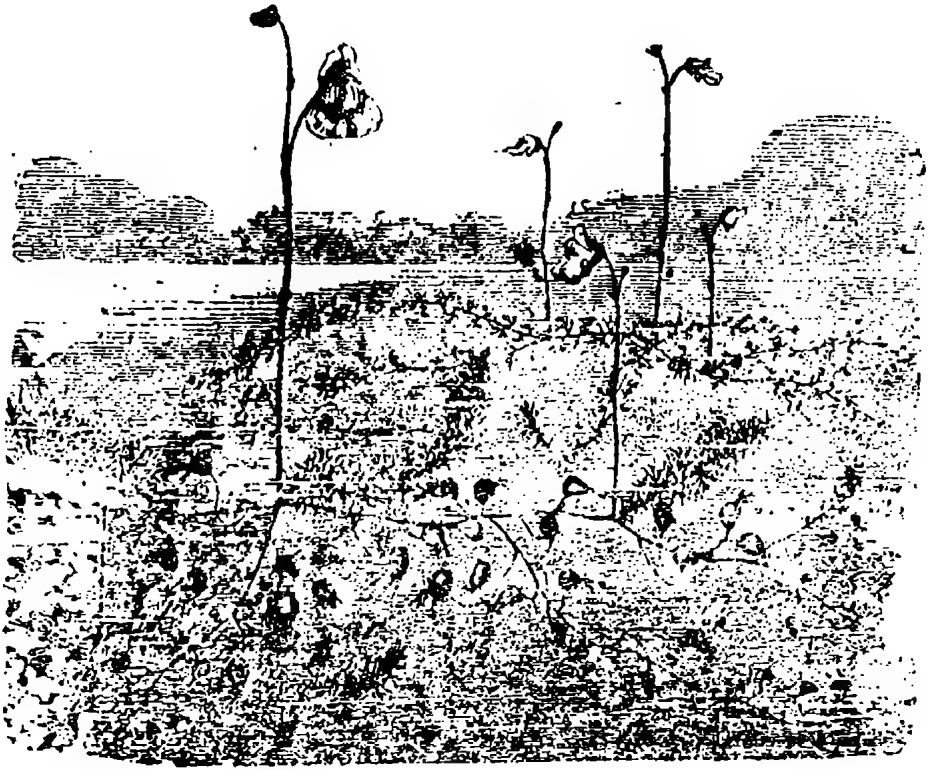
للأوراق النباتية صور عديدة . نلخصها فيما يأتي :

١ - الفلقات (Cotyledons) .

٢ - الأوراق الأولية (Prophylls) : وهي - كما أوضحنا في الباب

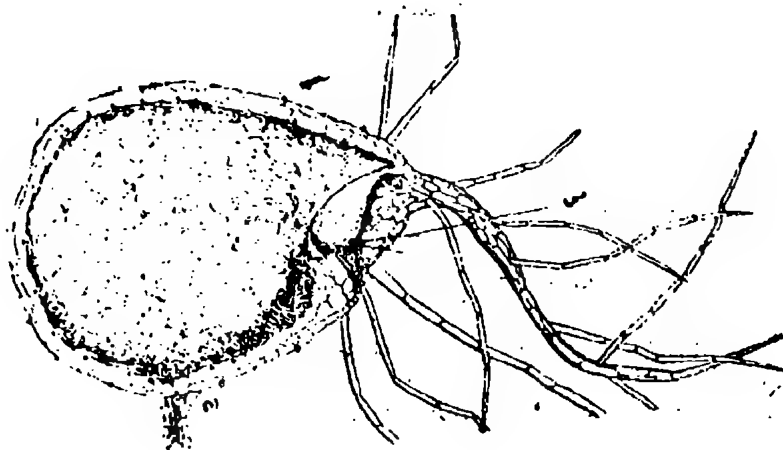
الثالث - أولى الأوراق التي يكونها المجموع الخضرى في حالات الإنبات
الأرضى كإنبات بنور الفول ، وعددها اثنان متبادلان ، وتختلفان اختلافاً
جوهرياً عن الأوراق التي يعطيها النبات البالغ . ففي الفول تكون الأوراق
الأولية بسيطة غير مؤذنة ولا معنقة ، صغيرة الحجم عريضة القاعدة ، بينما
الأوراق التي يكونها النبات بعد ذلك تكون كبيرة الحجم مركبة ، كما أنها
تكون مؤذنة معنقة .

(شكل ٦٤)



(١)

لبات حاملو الماء يحمل عدة مثانات مغمورة تحت سطح الماء .



(ب)

تركيب المثانة لى حاملو الماء : (نن) شميرة مشعبة توجد على السطح الداخلى للمثانة ،
(مر) شميرة خاصة على الباب المصدى .

٣ - الأوراق الحرشفية (Sclerophyllous leaves) : وهي أوراق غير خضراء ، خالية من الكلوروفيل ، ولذلك لا تؤدي وظيفة البناء الضوئي ، وقد تكون بيضاء غشائية في بعض النباتات ، أو تكون ملونة باللون البني أو الأسمر أو بلون باهت . وأهم وظائفها الوقاية ، فهي تغلف البراعم الشتوية لحمايتها أثناء فصل الركود ، ومن وظائفها أيضاً اختزان المواد الغذائية ، كما في الأبصال . وتكثر الأوراق الحرشفية بنوع خاص على السيقان الأرضية ، لاحتياجها عن الضوء ، كما أنها توجد أيضاً على السيقان الهوائية في بعض النباتات ، كالسفنندر والمهلنكيكيا ، حيث تخرج من آباطها السوق المتجورة .

٤ - الأوراق الخوصية (Foliage leaves) : وهي الأوراق الخضراء العادية التي يحملها النبات الأخضر في أجزائه الهوائية المعرضة للضوء ، وتعتبر الأعضاء الأساسية في عملية البناء الضوئي .

٥ - الأوراق الزهرية (Floral leaves) : وهي الأوراق المكونة للمحيطات الزهرية ، وكذلك الأوراق المساعدة التي تؤدي وظائف إضافية في الأجزاء الزهرية للنبات خارج الزهرة نفسها ، أما الأوراق الزهرية الأصلية فهي السبلات والبتللات والأسدية والكرابل ، وسنتحدث عنها بالتفصيل في مكان آخر . وأما الأوراق الزهرية الإضافية فتتميز إلى الصور الآتية :

(أ) القنابة (Bract) : وهي ورقة توجد الزهرة في إبطها ، وتكون خضراء كورقة خوصية عادية في بعض النباتات ، كحنك السبع (Antirr- hinum) مثلاً ، أو ملونة زاهية اللون كما في الجهنمية (Bougainvillea) .

(ب) القنبية (Bracteole) : وهي ورقة زهرية إضافية ، أصغر من القنابة . وتوجد على عنق الزهرة ، وقد تكون خضراء أو ملونة ، وتحمل العنق عادة قنبتين في وضع جانبي .

(ج) القلابة (Involucre) : وهي مجموعة من القنابات تنظم في محيط أو أكثر حول النورة ، وتوجد بنوع خاص في الفصيلتين المركبة والخيمية ،

فتورة الفصيلة المركبة - كعباد الشمس مثلاً - هامة تحيط بها قلافة من قنابات خضراء أو ملونة ، أو حراشيف غشائية جافة ، أو غير ذلك . وتقع القلافة خارج الأزهار الشعاعية . وفي بعض النباتات توجد زهرة من هذه الأزهار في إبط كل قنابة من قنابات القلافة ، على أن الغالب ألا تنفق قنابات القلافة مع الأزهار لا في العدد ولا في الموضع .

(د) القنبعة (Glume) : القنابع أوراق زهرية مساعدة ، خاصة بالنباتات النجيلية - كالقمح والشعير - وهي توجد على السنبال في الناحيتين الظهرية والبطنية للاستبيلات ، كما تحيط أيضاً بالأزهار .

(هـ) القينوة (Spathé) : وهي ورقة زهرية كبيرة الحجم ، تخلف النورة من جميع نواحيها عدا ناحية واحدة ، وتعرف النورة في تلك الحالة بالنورة الإغريضية أو القينوية (spadix) ، وتتكون من شمراخ لحمي غليظ يحمل أزهاراً وحيدة الجنس . وسنتحدث عن هذه النورة بشيء من التفصيل في باب لاحق .

القسم الثانى
(التركيب الداخلى للنبات)

الباب السابع

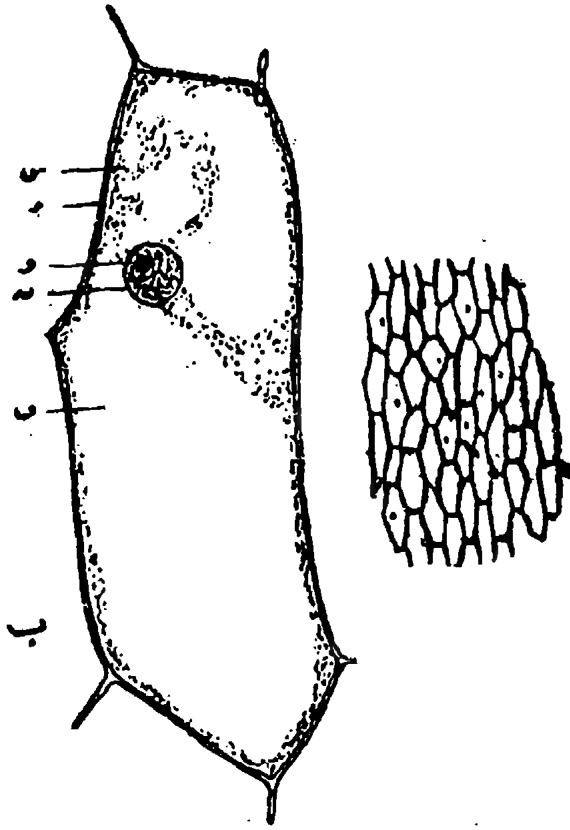
التركيب الدقيق للخلايا النباتية

يتكون الكائن الحي - حيواناً كان أو نباتاً - من وحدة أو أكثر من الوحدات الدقيقة المجهرية ، تعرف بالخلايا (Cells) ، ويوصف الكائن بأنه وحيد الخلية (Unicellular) إذا تكون من خلية واحدة ، ومتعدد الخلايا (Multicellular) إذا تكون من أكثر من خلية . وللخلايا فجوات دقيقة مستديرة أو مضلعة ، تفصلها حواجز رقيقة ، فتبادو كغرف مترابطة تشبه خلايا النحل (شكل ٦٥ : ١) . وأول من اكتشف هذا التركيب الخلوي للنبات هو روبرت هوك الانجليزي عام ١٦٦٧ ، وأطلق على الوحدات التشريرية اسم « خلايا » لشدة مشابهتها لخلايا النحل . على أن التركيب التفصيلي للخلايا لم يبدأ التعرف عليه إلا حوالي منتصف القرن الماضي ، بعد أن اخترع المجهر وانتشر استعماله وقويت علماته ، حتى أصبح أداة هامة في دراسة الخلايا والأنسجة .

وينشأ كل كائن حي - مهما كبر حجمه - من خلية واحدة مجهرية الحجم . تنقسم مرة بعد أخرى لتعطي تلك الكثرة الهائلة من الخلايا ، ذات الأشكال والأحجام المختلفة ، التي يتكون منها جسم النبات أو الحيوان . وتختلف أحجام الخلايا النباتية وأشكالها اختلافاً كبيراً ، فغالبيتها صغيرة لا ترى إلا بالمجهر ، ولا تتجاوز أبعادها بضعة ميكرونات (١) ، بل إن بعض أنواع البكتيريا لا تزيد خلاياها على ميكرون واحد ، على أن هناك من الخلايا ما تصل أطوالها إلى سنتيمتر أو بضعة سنتيمترات كشعيرات القطن وألياف بعض النباتات ، وهذه يمكن رؤيتها بالعين المجردة . كذلك تختلف أشكال الخلايا النباتية اختلافاً كبيراً ، فمنها الكروية والمكعبة والمستطيلة والمضلعة ومدمبة الأطراف وذات الأطراف المستديرة أو المستوية .

(١) الميكرون (micron) جزء من ألف جزء من المليمتر .

(شكل ٦٥)



منظر سطحى لخلايا بعرة المراهيف القلبية في
النصل : (١) منظر الخلايا كالميدون تحت القوة الصغيرة
المجهر ، (ب) خلية واحدة تحت القوة الكبيرة :
(ج) حدار خلوى ، (س) سيتوبلازم ، (ف) فجوة
عصارية ، (ن) نواة ، (و) نوية (عن فرانس
وساليمورى) .

وتتركب الخلية النباتية

(شكل ٦٥ : ب) من

جزئين رئيسيين ، هما

البروتوبلاست (Protoplast)

والجدار الخلوى (Cell wall)

أما البروتوبلاست فهو

كتلة من مادة حية تعرف

«بالجيلة» أو «البروتوبلازم»

(Protoplasm) ، وتركيبها

الكيميائى معقد غاية

التعقيد ، ويمكن اعتبارها

خليطاً من البروتينات

والمسواد الدهنية والماء

والأملاح والكربوهيدرات

وتدخل فى تركيبها عناصر

الكربون والأيدروجين

والأكسجين والنتروجين

والكبريت والفسفور

والبروتوبلازم مادة

غروانية معقدة ، لها مثل قوام زلال البيض ، وتحتوى عدداً كبيراً من
الحيبيات الدقيقة المبعثرة التى يمكن اعتبارها مواد غذائية ، أو من فضلات
التحول الغذائى . أما الجدار الخلوى فهو غلاف من مادة غير حية ، أكثر
صلابة ونماسكاً من البروتوبلازم ، يتركب أساساً من مادة السليلوز (Cellulose) ،
وهى إحدى الكربوهيدرات عديدة السكر . ووظيفة الجدار تغليف
البروتوبلاست وحمايته .

(الخلايا النباتية بدائية وحقيقية النواة)

هناك طرازان من الخلايا يختلفان في التركيب اختلافاً أساسياً ، بحسب مدى بدائية أو تقدمية الأقسام المختلفة التي تتضمنها المماكة النباتية ، وهما :

١ - خلايا بدائية النواة (Procaryotic cells) .

٢ - خلايا حقيقية النواة (Eucaryotic cells) .

وهذان الطرازان يختلفان بدرجة كبيرة بحيث تنتمي الكائنات التي تتركب أجسامها من أحد طرازي الخلايا إلى قسم مستقل بذاته ومنفصل تمام الانفصال عن قسم الكائنات التي تتركب أجسامها من الطراز الآخر من الخلايا ، وبذلك نشأ قسمان مميزان من الكائنات ، يعرف أحدهما باسم « بدائيات الأنوية » (Procaryota) ويعرف الآخر باسم « حقيقيات الأنوية » (Eucaryota) .

وتحتوى « حقيقيات الأنوية » عادة على نواة محددة ومجسدة ومحاطة بغلاف غشائي هو الغشاء النووي ، وتظهر بالنواة أثناء الانقسامين الفتيلي (Mitosis) والاختزالي (Meiosis) صبغيات (Chromosomes) محددة الشكل والعدد وقابلة للانضغاط ، بينما لا تحتوى « بدائيات الأنوية » إلا على كروماتين متفرق الأجزاء قابل للانضغاط ولكنه يفتقر إلى غلاف غشائي ولا يكون صبغيات محددة العدد والأشكال ، وهناك الكثير من الجدل حول طريقة أداء كل من هذين الطرازين من الخلايا لوظائفه ، وحول الصلة التطورية بينهما فيما يختص باحتمال اشتقاق أحد الطرازين من الآخر في وقت ما في الماضي .

(أولاً) الخلية بدائية النواة (Procaryotic cell)

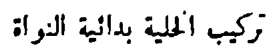
يستطيع حالياً المتخصص في المجهر الإلكتروني أن يدرس بالتفصيل الكبير التركيب الدقيق لأصغر طرز الخلايا المعروفة ، وهي من نوعية الخلايا بدائية الأنوية ، وهي خلايا متعضيات وحيدة الخلية ومفرطة البدائية وعدمية الجدار

تعرف باسم « الميكوبلازومات » (Mycoplasmas) ، عزلت لأول مرة من مواشى مصابة بمرض « ذات الجنب والرئة » (Pleuropneumonia) الذى يسبب اندماج الغشاء الجانبي للرئة ويؤدى إلى موت هذه الحيوانات . وسميت حينذاك باسم « المتعضيات البليرونيمونيا » (Pleuropneumonia organisms) نسبة إلى ما تسببه من أمراض ، ثم عزلت هذه المتعضيات بعد ذلك من التربة ومياه المحارى ومن الأغشية المخاطية المصابة فى الإنسان والحيوان ، وبسبب مشابهة الأخيرة للمتعضيات المعزولة قبل ذلك من المواشى فإن الميكروبلازومات تعرف كذلك باسم « المتعضيات الشبيهة بالبليرونيمونيا » - (Pleuropneumonia-Like Organisms) ويرمز لها بالحروف (PPLO) ، وتنتمى هذه المتعضيات - مثلها كمثل البكتريا - إلى مجموعة الفطريات الانشطارية (Schizomycetes) .

وهناك نوع من بين أنواع الميكوبلازومات يعرف باسم « ميكوبلازما جاليسبتيكوم » (Mycoplasma gallisepticum) ، تشبه خلاياه قطرات الدموع فى شكلها ، وقد أثار صغر هذه الخلايا الكثير من التساؤلات ، من بينها على سبيل المثال ما إذا كان مثل هذا الجهاز الحى الصغير يمتلك من المقومات الرئيسية ما تمكنه من ممارسة جميع الأنشطة الخلوية التى تمارسها الخلايا الأكبر حجماً ، وما إذا كانت كمية المادة الحوية الضئيلة محددة لنشاط مثل هذه الخلايا بحيث تؤدى وظائفها بطريقة أكثر بساطة مما تؤدىها طرز الخلايا الأكبر حجماً ، وتساؤل آخر عن الحدود البيولوجية لأحجام الخلايا الحية ، وقد اقترح اعتبار الحد الأدنى لحجم الخلايا الحية - من الناحية النظرية - هو أصغر أحجام المتعضيات الشبيهة بالبليرونيمونيا ، وهو قطر حوالى ٠.١ ميكرون .

وحق بدون اعتبار تفصيلي للوظيفة فإنه يمكن افتراض أن المكونات الأساسية لأصغر الخلايا الميكوبلازمية هى أيضاً مكونات أساسية لأية خلية حية (شكل ٦٦) ، وهذه المكونات الأساسية هى :

١ - غشاء محدد - هو الغشاء البلازمي (Plasmalemma) . يفصل ما بين الخلية والوسط الخارجى .



الجدار الخلوي والأسواط : عادة ما تكون للخلايا بدائية النواة جدر قوية متعددة الطبقات تضي عليها القوة والتماسك وتسبغ عليها الأشكال المميزة لها ، وتوجد في بعض الخلايا بدائية النواة صفوف من الثقوب في

جدرها الخلوية : ويغلب على الظن أن التحرك الانزلاقي للخلية يحدث نتيجة لإفراز مواد مخاطية لزجة تناسب من هذه الثقوب ، وتحيط كثير من الكائنات بدائية النواة خلاياها بأغلفة مخاطية .

وتتحرك بعض الكائنات بدائية الأنوية بوساطة أسواط (Flagella) ، وهي عبارة عن خيوط منفردة أو مجدولة تنبثق من السيتوبلازم ، وتتكون هذه الأسواط من طراز واحد من البروتين يطلق عليه اسم « فلاجلين » (Flagellin) ، ويشبه البروتينات الموجودة في عضلات الحيوان .

الأغشية البلازمية والسيتوبلازم :

برغم التشابه الشكلي للأغشية البلازمية في الكائنات بدائية الأنوية بمثلاتها في الكائنات حقيقية الأنوية ، إلا أن مدى نشاطها أوسع من مدى نشاط الأخيرة بكثير ، إذ لا يقتصر نشاط هذه الأغشية في بدائيات الأنوية على تكوين الأغلفة المحددة للخلية من الخارج بل يمتد ليشمل المشاركة في تكوين غالبية — إن لم يكن جميع — المكونات السيتوبلازمية للخلية ، ففي البكتيرية بدائية النواة المعروفة باسم « ميكسوكوكس زانثس » (Myxo-coccus xanthus) يعتقد أن السيتوبلازم ذاته مكون من خيوط قوتعية الشكل تنشأ من السطح الداخلي للغشاء البلازمي ، وتوجد بالسيتوبلازم مواد غذائية وريبوسومات .

وتكون الريبوسومات (Ribosomes) في الخلايا بدائية الأنوية أصغر قليلا في الحجم منها في الخلايا حقيقية الأنوية . وتستطيع وريبوسومات الخلايا بدائية الأنوية إنتاج ما يسمى بالميزوسومات (Mesosomes) المكونة من أنابيب ومجموعات غشائية وأقراص ، والمعتقد أن الميزوسومات تساهم في تكسير المواد الغذائية المدخرة لتوليد طاقة في الخلية . وفي بعض الصور المأخوذة بالمجهز الإلكتروني تشاهد الميزوسومات متصلة بكل من الغشاء البلازمي الخارجي والمادة النووية للخلية . وهناك من يعتقد أن الميزوسومات تشارك في عمليات الانقسام الخلوية والنوية ، كما أنها تقرن

بعمليات انفصال المادة الكروماتينية وتغليفها التي تحدث أثناء تكوين الأبواغ (الجراثيم) ، وتقترن كذلك بتكوين الجدار أثناء عمليات الانقسام الخلوى المعتادة ، ويمكن اعتبار الميزوسومات بمثابة مشتقات متعددة الوظائف للغشاء البلازمى .

أشباه الجيوب أو الثيلاكويدات (Thylakoids) : فى الخلايا بدائية النواة يطلق اسم « ثيلاكويد » (Thylakoid) عادة على جهاز تمثيلى من الأغشية موجود فى وحدات تمثيلية خاصة تعد مقابلة للبلاستيدات (Plastids) فى الخلايا حقيقية النواة ، وهى هنا تتخذ شكل تراكيب غشائية مفلطحة (شكل ٦٦) . وتوجد هذه الثيلاكويدات فى الكائنات ضوئية التغذية (Phototrophs) ، وهى التى تستمد الطاقة من ضوء الشمس ، كما توجد فى الكائنات كيميائية التغذية (Chemotrophs) التى تعتمد على الطاقة الكيميائية ، ويطلق على الكائنات بدائية النواة وذاتية التغذية - التى تقوم بأكسدة مواد كيميائية غير عضوية - كالكبريت على سبيل المثال - اسم حجرية التغذية (Lithotrophs) ، فى حين يطلق على الكائنات كيميائية التغذية المؤكسدة للمواد العضوية - كالسكريات - اسم عضوية التغذية (Organotrophs) ، وتستمد الأخيرة الطاقة من مجموعة كبيرة من مختلف المراد العضوية ، وهى عادة خالية من ثيلاكويدات واضحة فى الخلية ، وعلى العكس من ذلك توجد ثيلاكويدات واضحة فى خلايا الكائنات بدائية النواة ، حجرية وضوئية التغذية ، وعادة ما تنشأ ثيلاكويدات الخلايا بدائية النواة نتيجة الانطواء الداخلى للأغشية البلازمية .

شبه النواة (Nucleoid) : يطلق اسم « شبه النواة » على ذلك الجزء من سيتوبلازم الخلية بدائية النواة المحتوى على المادة النووية ، وتكون « شبه النواة » غير منفصلة عن السيتوبلازم بغشاء نووى كما هو الحال فى نواة الخلية حقيقية النواة ، وهى تنتشر فى غالبية الخلايا بدائية النواة فى غالبية السيتوبلازم وبذلك تكون جميع المكونات الخلوية ملازمة لها أو على مقربة منها . ويختلف الكروماتين فى شبه النواة عن ذلك الموجود فى نواة الخلايا حقيقية النواة فى

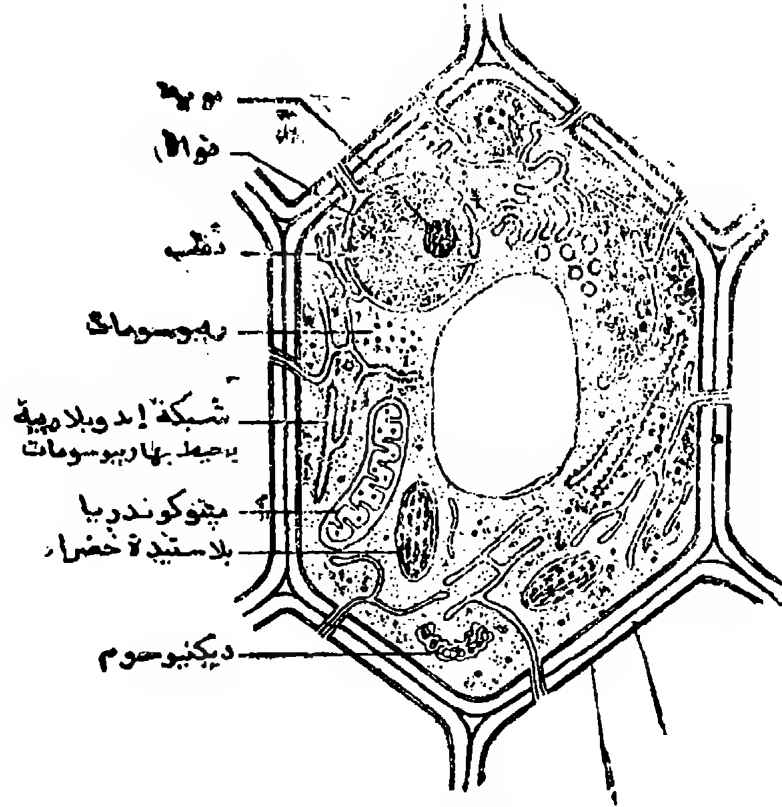
كونه يظهر في القطاعات الرقيقة - عند فحصها بالمجهر الإلكتروني - كتجمعات من الألياف ، وإذا نرعت شبه النواة الليفية وبسطت وفحصت بالمجهر الإلكتروني تبدو كخيوط واحد ملتو وملتف ، يطلق عليه أحياناً اسم كروموسوم الخلية بدائية النواة (Procaryotic chromosome) أو يعطى أحياناً أخرى اسم الحامل الجيني (Genophore) .

(ثانياً) الخلية حقيقية النواة (Eucaryotic cell)

المكونات الأساسية للخلايا بدائية النواة توجد أيضاً في الخلايا حقيقية النواة ، وهذه المكونات هي : الأغشية البلازمية والأحماض النووية والريبوسومات ونواتج التحول الغذائي ، ولكنها توجد مرتبة بطريقة تختلف تماماً عن تلك الموجودة في الخلايا حقيقية النواة . ويمكن النظر إلى الخلية حقيقية النواة على أنها مقسمة داخلياً إلى مناطق متخصصة تفصل ما بينها أغشية مختلفة ، والله شاء أن المكونات لغلاف النواة هما جزء من جهاز الأغشية العام الذي يعمل على تقسيم الخلية حقيقية النواة إلى مناطقها المختلفة .

ولقد أوضح المجهر الإلكتروني أن الخلية حقيقية النواة تحتوي على عدة عضيات (Organelles) مهياة تركيبياً للقيام بمختلف وظائف الحياة ، وتغلف نواتها بغشاء مزدوج ، كما تغلف العضيات هي الأخرى بأغشية ، ويوجد الحامض النووي (DNA) في النواة وفي العضيات ، وتتميز العضيات عن بعضها البعض تركيبياً ووظيفياً ، ويتخذ الحامض النووي (DNA) في بعض العضيات شكل خيط ملتو شبيه بذلك الموجود في شبه نواة الخلية بدائية النواة .

ولا توجد في الواقع خلية حقيقية النواة يمكن أن يطلق عليها اسم « الخلية النموذجية » ، بمعنى أنها تحتوي على جميع العضيات التي عثر عليها في مختلف الخلايا ، وتباين الخلايا في وظائفها باختلاف تراكيبها ، أي في نوعية العضيات الموجودة بها ، وفيما يلي أهم عضيات الخلايا حقيقية النواة (شكل ٦٧) :



عضيات الخلية حقيقية للنواة

١ - الجدار الخلوي - والأسواط إن وجدت - وهو شائع في الخلايا النباتية .

٢ - الغشاء البلازمي ، ويوجد في جميع الخلايا من نباتية وحيوانية .

٣ - السيتوبلازم والشبكة الإندوبلازمية .

٤ - الفجوة العصارية ، وهي موجودة في جميع الخلايا النباتية البالغة .

٥ - البلاستيدات الخضراء (في خلايا النبات الأخضر) وغيرها من البلاستيدات .

٦ - الميتوكوندريات ، وهي مراكز لتوليد الطاقة وتوجد في غالبية الخلايا .

- ٧ - الليسوسومات ، وتحتوى على الإنزيمات الهاضمة .
- ٨ - السفيروسومات ، أو الأجسام الكروية .
- ٩ - السنتروسومات ، وهى أقطاب الجهاز المغزلى الذى يظهر أثناء الانقسامات الخلوية .
- ١٠ - الريبوسومات ، وتعمل على تخليق البروتينات .
- ١١ - الدكتيوسومات (أو أجسام جولجى) .
- ١٢ - النواة (Nucleus).
- ١٣ - النوية (Nucleolus)

وستتناول هذه العضيات بالشرح تفصيلاً :

١ - الجدار الخلوى والأسواط

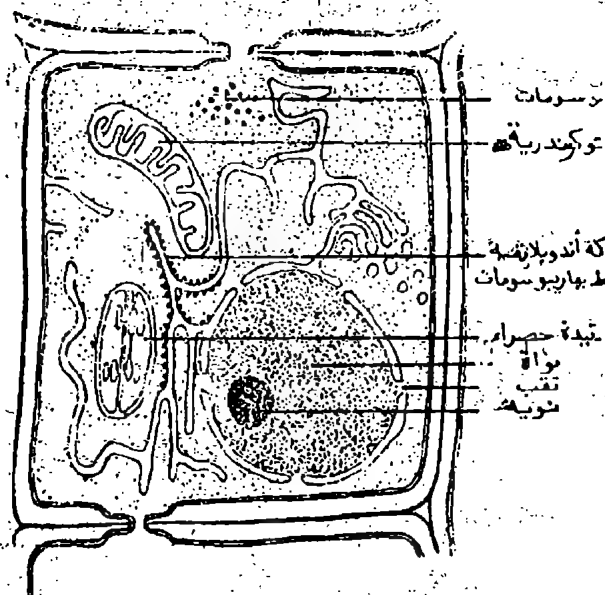
تتميز جميع الخلايا النباتية تقريباً بأنها ذات جدر ، والجدار الخلوى تركيب غير حى مسامى صلب ولكنه مرن إلى حد ما ، ويتمثل الجدار الخلوى فى النباتات الراقية بشبكة من ليفيات دقيقة (microfibrils) سليولوزية منغمسة فى مادة أساسية تحتوى على أصماغ ومواد مخاطية ودهون وشموع . ويتكون الجدار فى الخلية الحديثة - الناتجة للتو من الانقسام الخلوى - من طبقة رقيقة تسمى « الصفيحة الوسطى » (Middle lamella) ، هى التى تفصل ما بين الخلايا المتجاورة ، وتتكون من نسبة كبيرة من المواد البكتينية لانسياً بكثات الكالسيوم والمغنسيوم ، وفيما يلى الصفيحة الوسطى تنتج الخلية حديثة العمر أولاً جداراً ابتدائياً (Primary wall) يفرز كطبقة إضافية ترسب فوق الصفيحة الوسطى ، قد يصل سمكه إلى ما بين ميكرون واحد وثلاثة ميكرونات ، ويتكون أساسياً من مادة السليولوز (cellulose) التى تختلط بها مواد أخرى مثل الهميسليولوز (Hemicellulose) والبروتين .

وفي كثير من الخلايا لا يضاف إلى الصفيحة الوسطى سوى الجدار الابتدائي إلا أن هناك حالات يتكون فيها ما يسمى بالجدار الثانوي (Secondary wall) ، وذلك بعد اكتمال نمو الخلية في الحجم وتقدمها في العمر ، ويتركب الجدار الثانوي عادة من ثلاث طبقات تكون مادتها الأساسية السليلوز المختلط أحياناً بمواد أخرى أهمها :

- أ - اللجنين (Lignin) ، وهو مادة كربو إندراتية .
- ب - السوبرين (Suberin) ، وهو مادة دهنية توجد بوفرة في الخلايا الفلينية .
- ج - الكيوتين (Cutin) ، وهو مادة شمعية .

وترسب كذلك في كثير من الجدر الثانوية مواد غير عضوية مثل كربونات الكالسيوم والسيليكات ، وتغطي الخلايا المعرضة للهواء الجوي - على الأسطح الخارجية لأعضاء النباتات الأرضية - بمادة الكيوتين ، وهي مادة شمعية غير منفذة للماء .

وتوجد بالجدر الابتدائية لغالبية الخلايا مساحات رقيقة تسمى « النقر » (Pits) كما هو مبين في (شكل ٦٨) ، وهذه النقر بها ثقب دقيقة للغاية تمر منها خيوط سيتوبلازمية

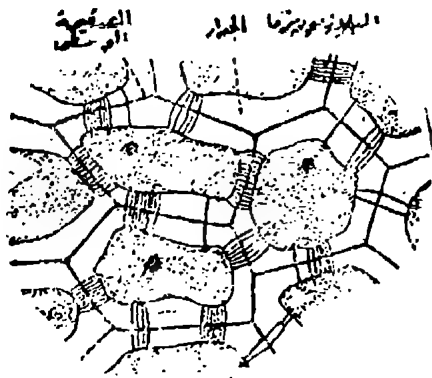


رفيعة تعرف باسم الروابط البلازمية (Plasmodesmata) تصل ما بين الكتل الخلية أو البروتوبلاستات (Protoplasts) في الخلايا المتجاورة (شكل ٦٩) ،

وتساعد هذه الروابط البلازمية على انتقال المواد - وربما كذلك

رسم تخطيطي يستند إلى استخدام المجهر الإلكتروني ، بين خلية نباتية حقيقية النواة بها الصفيحة الوسطى والجدار الابتدائي ، كما تظهر النقر (Pits) في جدار الخلية .

(شكل ٦٩)



الروابط البلازمية تخترق جدار الخلايا
وتصل ما بين البروتوبلازومات في الخلايا
المجاورة

الحواجز والموتثرات - بين الخلايا ،
وتتكون الروابط البلازمية من الأغشية
البلازمية الخارجية (Plasmalemma)
وأغشية الشبكة الإندوبلازمية
(Endoplasmic reticulum) معاً .

وفي الخلايا حقيقية النواة التي توجد
فرادى وتنقل من مكان إلى مكان - كما
في بعض الطحالب الخضراء والدياتومات
على سبيل المثال - تنتقل الخلية إما بحركة
انزلاقية (Slime movement) نتيجة

لما ينساب منها من مواد مخاطية وإما بواسطة أسواط تنبثق منها ، إلا أن الأسواط
في هذه الخلايا تكون أكثر تعقيداً في التركيب من مثيلاتها في الخلايا بدائية
الأنوية المتحركة ، وإن كانت تشبهها في الأصل ، فهي تتكون من تسعة
تراكييب ليفية محيطية وتركيبين مركزيين ، ويطلق على هذه التراكييب اسم
« الأنبيبات الدقيقة » (Microtubules) . ويحاط هذا الجهاز الأنبيبي بمادة
أساسية حبيبية (Granular matrix) ، ويتغلف جميع ذلك من الخارج بالغشاء
البلازمي (Plasmalemma) ، والسطح الخارجي للوسط قد يكون أملس أو
يحمل شعيرات ناتئة أو قشوراً .

٢ - الغشاء البلازمي (Plasmalemma) :

توجد الأغشية البلازمية (Plasma membranes) في الخلايا النباتية والحيوانية
على حد سواء ، ويحدد الغشاء البلازمي الحى الخلية من الخارج - في كل من
الخلية بدائية النواة وحقيقية النواة - وهو غشاء نصف نفاذ ، بمعنى أنه يسمح بنفاذ
بعض المواد الكيميائية صغيرة الجزيئات بخاصة الانتشار بينما لا تستطيع مواد
أخرى - عادة ما تكون كبيرة الجزيئات - النفاذ . ويختلف الغشاء البلازمي
الخارجي عن جدار الخلية من حيث الشكل والتركيب والوظيفة ، ويكون
ملاصقاً للجدار غير الحى ويفصله عن مادة الخلية الحية الموجودة بالداخل .

وليس من اليسير التمييز بين الغشاء البلازمي الخارجى وسيتوبلازم الخلية بالمجهر الضوئى العادى ، ولكن يمكن التمييز باستعمال المجهر الإلكتروني ، ويكون الغشاء البلازمي مرئياً بعكس الجدار الخلوى الذى يتميز بالصلابة ، وهو رقيق للغاية لا يتجاوز سمكه ٧٥ أنجستروم ، ولذلك فهو لا يرى بالمجهر الضوئى لأن حدود الرؤية بهذا المجهر هى ميكرون واحد (أى ١٠ أنجستروم) ، ولكن للمجهر الإلكتروني قوة تكبير تعادل ألف مرة قوة تكبير المجهر الضوئى ، ولذلك يتسنى باستعمال المجهر الإلكتروني رؤية الأغشية البلازمية . ويبدو الغشاء البلازمي مكوناً من طبقتين ، ويصطبغ سطحه الداخلى تحت ظروف معينة بلون أدكن مما يصطبغ به السطح الخارجى ، وإذا فصل الغشاء البلازمي الحى للخلايا حقيقية النواة وفحص - بعد تجميده بالتبريد - بدت فيه إثناءات أو ثآليل وصفوف من حبيبات ، يتشابه فى ذلك السطح الداخلى والسطح الخارجى للغشاء المنزوع ، ولم تعرف بعد وظائف هذه الحبيبات والثآليل . ولا تحتوى الأغشية البلازمية على كربوهيدراتات ولكنها تتكون من بروتين وليبيد ، ومن حيث الوظيفة فهى ذات « نفاذية انتخائية » (Selective permeability) ، بعكس جدار الخلية التام الإنفاذ ، ومن ثم فعندما يكون الغشاء البلازمي حياً فإنه يسمح لبعض المواد بالنفاذ خلاله بحرية تامة ، بينما تنفذ مواد أخرى بمعدل أقل نسبياً ، وهناك من المواد ما لا تستطيع النفاذ على الإطلاق ، وعندما تموت الخلية يصبح الغشاء منفذاً لجميع المواد ، وتسرى على حد سواء هذه الحقيقة على جميع الأغشية الحية ، وتؤدى النفاذية الانتخائية للغشاء البلازمي إلى حدوث ظاهرة « الأزموزية » ، ومما يثبت وجود الغشاء البلازمي فى خلايا النباتات الراقية حدوث ظاهرة « البلازمة » بها عند وضعها فى محلول قوى التركيز .

وتختلف طريقة انتظام البروتين والليبيدات - المكونة للغشاء البلازمي - باختلاف النباتات ، كما تتباين باختلاف الظروف فى نفس النبات ، ويتميز البروتينات بكبر جزيئاتها المكونة من وحدات أساسية من الأحماض الأمينية (Amino acids) ، أما الليبيدات فتتكون من وحدات جزيئية من الأحماض

الدهنية (Fatty acids) وتختلف الليبيدات عن البروتينات في كونها غير قابلة للذوبان في الماء ولكنها تذوب في المذيبات العضوية (مثل الكحول والأميتون والإثير) .

وتتخذ طريقة ترسيب الجزيئات البروتينية والليبيدية في الأغشية البلازمية نسقاً موحداً ، بحيث ترسب الجزيئات البروتينية على السطحين الخارجيين للغشاء وتحصران بينهما طبقة جزيئات الليبيد في الوسط . ويبدو الغشاء البلازمي - في القطاعات البالغة الرقة - كخطين رفيعين (طبقتين كثيفتين) يحصران بينهما فراغاً رائقاً . ويبلغ سمك كل من الطبقتين الكثيفتين ٢٥ أنجستروم بينما سمك الطبقة الرائقة التي تقع بينهما ٣٠ أنجستروم ، أي أن سمك الغشاء الكلي حوالي ٨٠ أنجستروم ، ويمكن توضيح هذا التركيب ثلاثي الأجزاء للغشاء البلازمي بسهولة بطرق التحضير الحديثة للفحص بوساطة المجهر الإلكتروني ، ولذلك يطلق على هذا الطراز من تركيب الأغشية اسم « الغشاء الموحد » (Unit membrane) ، وفي هذا الطراز - كما سبق القول - تكون الطبقتان الكثيفتان بروتينيتين بينما تكون الطبقة الوسطى ليبيدية ، وتقع الأطراف المحبة للماء (Hydrophilic) من الجزيئات الليبيدية للخارج - أي مجاورة للبروتين ومتصلة به - بينما تتجه الأطراف الكارهة للماء (Hydrophobic) من نفس الجزيئات صوب الوسط ، ولهذا فإن الغشاء البلازمي يكون محباً للماء ومجتذباً له على كلا سطحيه .

٣ - السيتوبلازم والشبكة الإندوبلازمية :

يغد السيتوبلازم (Cytoplasm) هو المادة الغزوية الأساسية للبروتوبلازم ، ويبدو تحت المجهر الضوئي شفافاً تقريباً ولزجاً ، ويملأ في الخلايا الحديثة تجويف الخلية ، بينما يقتصر وجوده في الخلايا النباتية البالغة على طبقة رقيقة ملاصقة للغشاء البلازمي الخارجى بينما تشغل الجانب الأكبر من فراغ الخلية الداخلى فجوة مائية أو أكثر ، وتختلف درجة لزوجة السيتوبلازم باختلاف عمر الخلية ، وتتراوح نسبة الماء فيه ما بين ٨٥٪ و ٩٠٪ ، وتوجد به بروتينات ودهون وأملاح ومواد سكرية . وإذا فحصت الخلية الحية بالمجهر

الإلكتروني يتضح وجود أنيبيات وجزيئات داخل السيتوبلازم . تكون محاطة بمادة تعرف باسم « البلازم الأساسي » (Groundplasm) تتميز بأنها حبيبية دقيقة الحبيبات ، ويعمل جهاز الأغشية - كما سبق أن ذكرنا - على تقسيم المادة الأساسية للسيتوبلازم إلى مناطق ، كما يعمل على توزيع المواد بداخلها ، ويمكن في بعض الأحيان مشاهدة تيارات متدفقة من السيتوبلازم ومحتوياته من المواد داخل الخلية الحية ، ويطلق على هذه الحركة التدفقية للسيتوبلازم داخل الخلايا اسم « الحركة الدورانية » (Cyclosis) .

وقد أدى فحص الأنبيات الدقيقة - الموجودة في السيتوبلازم - إلى افتراض أن تكون قضباناً صلبة نسبياً . وهي تمتد أحياناً موازية لبعضها البعض فيما يلي الغشاء البلازمي الخارجي مباشرة ، ولكنها توجد كذلك في مواضع أخرى من الخلية ، وقد حملت صلابة هذه الأنبيات بعض علماء النبات إلى افتراض أن لها وظيفة تدعيمية للسيتوبلازم ، وأنها تعد بمثابة « هيكل دقيق » (Microskeleton) يحقق تماسك السيتوبلازم الذي يوجد به . ويفترض آخرون أن هذه الأنبيات الدقيقة قد تكون ذات صلة بحدوث التدفق السيتوبلازمي واتجاهه ويتحرك الأغشية السيتوبلازمية والمواد التي يحتويها السيتوبلازم .

الشبكة الإندوبلازمية (Endoplasmic reticulum) : يظهر أيضاً في السيتوبلازم - عند الفحص بالمجهر الإلكتروني - وجود أغشية بلازمية مختلفة ، تكون متصلة ومتشابكة ، ويطلق عليها اسم الشبكة الإندوبلازمية (مبينة في كل من الشكلين السابقين ٦٧ و ٦٨) . ويطلق اسم الشبكة الإندوبلازمية على جهاز متشعب من هذه الأغشية المتصلة ببعضها البعض ، وتوجد على السطح الخارجي لبعض هذه الأغشية حبيبات خشنة ومستديرة تقريباً يطلق عليها اسم « الريبوسومات » (Ribosomes) ، وتوجد هذه الحبيبات على سطح الغشاء المواجه للسيتوبلازم ، فتكسبه ملمساً خشناً على السطح ، ولذلك تسمى مثل هذه الشبكة باسم « الشبكة الإندوبلازمية

المتجعدة » ، إلا أن السطح يكون في بعض أجزاء الشبكة أملس ناعماً خالياً من الحبيبات وتوصف مثل هذه الأجزاء بأنها ملساء السطح ، وتتكون الحبيبات الريبوسومية من بروتين وحامض الريبونوكليك (RNA) . وتركيب أغشية الشبكة الإندوبلازمية كيميائياً من ليبوبروتينات (Lipoproteins) كما هو الشأن في سائر ما عداها من أغشية .

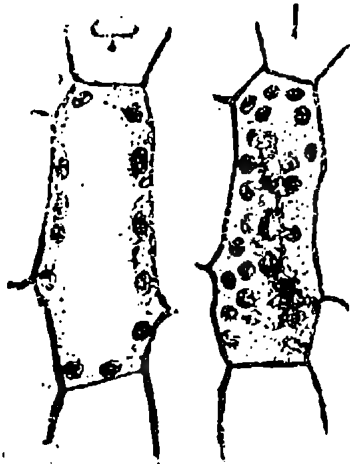
ويعتمد الهيكل الشبكي - الذى تكونه الأغشية البلازمية - داخل الخلايا الحية من الغشاء البلازمى الخارجى المبطن لجدار الخلية حتى الغشاء النووى المستقر داخلها ، ومن المحتمل كذلك أنه يمتد إلى الخلايا المجاورة عن طريق الروابط البلازمية . وتركيب الشبكة الإندوبلازمية من فجوات أو أكياس كثيرة التفاضل ومن أنيبات ضيقة ، ويبدو كلا الطرازين من الشبكة الإندوبلازمية كجيوب ناتئة من غلاف النواة ، ويعتقد أن هذه الشبكة تؤدي وظيفة جهاز نقل للمواد داخل الخلايا ، بل ويمتد عملها إلى النقل بين الخلايا المتجاورة في النسيج الواحد .

وتوجد الشبكة الإندوبلازمية في خلايا جميع الكائنات الحية فيما عدا البكتيريا والطحالب الخضراء المزرقة والطحالب الحمراء وكريرات الدم في الحيوان ، ولا توجد في هذه الأقسام نواة محددة يغلفها غشاء نووى ، ويبدو أن الغشاء النووى إنما هو جزء متخصص من الشبكة الإندوبلازمية وأنه أقرب صلة بالسيتوبلازم منه بالنواة .

(٤) فجوة الخلية :

تتميز الفجوة في الخلية (شكل ٧٠) الكثير من الخلايا النباتية ، وتشغل هذه الفجوة حيزاً كبيراً قد يصل إلى ٩٠٪ من حجم الخلية ، ونتيجة لذلك ينضغط السيتوبلازم والنواة بجوار الجدار ، وتحاط الفجوة بغشاء نصف نفاذ يعرف باسم التونوبلاست (Tonoplast) ، يعمل على الفصل ما بين هذه الفجوة وما حولها من سيتوبلازم ، ويشبه في تركيبه الدقيق « وحدة الغشاء » التى سبق الإشارة إليها عند الحديث عن الأغشية البلازمية ، ولكنه يختلف

(شكل ٧٠)



خايتان من خلايا نبات الإلوديا في منظر
سطحي (أ) وفي قطاع (ب). وترى
البلاستيدات الخضراء منتشرة في
السيتوبلازم المحيطي . وفي وسط
الغاية (ب) ترى فجوة عصارية
واسعة (عن فرانش وسالسيوري).

عنها من حيث الخصائص الفسيولوجية ،
ويمثل هذا الغشاء الحد الداخلي للمنطقة
السيتوبلازمية . ويلعب التونوبلاست
والسيتوبلازم والغشاء البلازمي دوراً
هاماً في احتفاظ الخلية باحتياجاتها المائية ،
كما تسهم الفجوات في امتصاص الخلايا
للماء في البذور النابتة ، وفي امتصاص الماء
أثناء تكشف الخلايا المفردة ونموها ،
وكذلك في الوظائف الأخرى الهامة التي
يقوم بها النبات .

ويوجد بداخل الفجوة سائل يسمى
«العصير الخلوي» (Cell sap) ، يتكون
من الماء ومن مجموعة كبيرة متنوعة من
المواد الذائبة منها السكريات والأملاح

غير العضوية والأحماض العضوية وأملاحها والأصبغ والقلويدات
(Alkaloids) ، وكذلك مواد أخرى قابلة للذوبان في الماء ، وقد توجد هذه
المواد بتركيزات عالية تؤدي إلى تكوين بلورات . وأهم الأصباغ الذائبة
في العصير الخلوي صبغ « الأنثوسيانين » (Anthocyanin) الذي قد يكون
مركزاً في العصير الخلوي كما في بتلات الأزهار ، وقد يكون العصير الذي
تحتويه الفجوة على الحامضية — كما في ثمار الحمضيات فإذا ما لامس
السيتوبلازم سبب إتلافه ، ومن هنا تتضح فائدة الغلاف الفجوي (Tonoplast)
في الحفاظ على حياة الخلية ، حيث يحول دون امتزاج العصير الخلوي
شديد الحامضية بالسيتوبلازم . وعلى وجه الإجمال تؤدي الفجوة وظيفة
مزدوجة ، ففيها يخزن الغذاء ، كما يخزن الماء وما فيه من ذائبات .

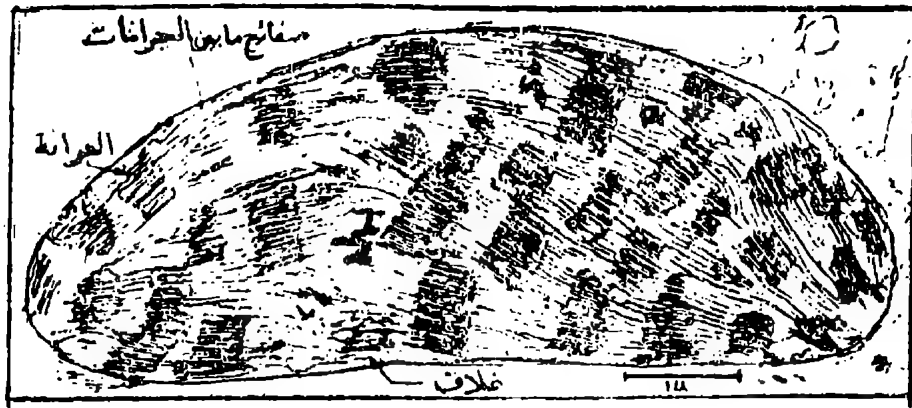
٥ - البلاستيدات الخضراء وغيرها من بلاستيدات :

البلاستيدات الخضراء (Chloroplasts) هي العضيات الخلوية الوحيدة

المحتوية على اليخضور (Chlorophyll) وتعد أهم أنواع البلاستيدات جميعاً ، أما الأنواع الأخرى منها فإما أن تكون عديمة اللون وتعرف باسم « الليكوبلاستات » (Leucoplasts) وإما أنها تحوى أصبغاً غير خضراء وتعرف باسم البلاستيدات الملونة أو « الكروموبلاستات » (Chromoplasts) ، والبلاستيدات هي أكثر العضيات الخلوية وضوحاً تحت المجهر الضوئي في الخلية النباتية ، لأنها تكون عادة ملونة ، وتعد أصباغ البلاستيدات الخضر وحدها هي التمثيلية لدورها الهام في عملية البناء الضوئي (Photosynthesis) .

أشكال البلاستيدات الخضر : البلاستيدات الخضر حبيبات عدسية الشكل مفلطحة تقريباً ويبلغ قطرها بضع ميكرونات ، توجد متناثرة بأعداد كبيرة في السيتوبلازم (شكل ٧٠ أ و ب) ، وفي بعض الطحالب (Algae) لا يوجد إلا عدد قليل منها وربما يقتصر على بلاستيدة خضراء واحدة في كل خلية ، قد تتخذ شكلاً كاسياً كما في طحلب الكلاميدوموناس (Chlamydomonas) أو نجمياً كما في طحلب الزيجنيا (Zygnema) أو صفيحة محورية كما في طحلب الميوجوتيا (Mougeotia) أو خلقياً كما في طحلب البولوثريكس (Ulothrix) أو حلزونياً كما في طحلب السبيروجيرا (Spirogyra) . وقد تحتوى الخلية البالغة على عدد كبير من البلاستيدات الخضر عدسية الشكل ، يصل عددها في بعض الأحيان إلى حوالي ٢٠٠ بلاستيدة ، ويبلغ قطر كل منها حوالي خمسة ميكرونات ويتراوح سمكها ما بين الميكرونين والخمسة ميكرونات .

تركيب البلاستيدات الخضر في النباتات الوعائية : تتميز البلاستيدات الخضر في النباتات الوعائية بأنها تكون دائماً داخل غشاء مزدوج (Double membrane) نصف نفاذ ، وتكون الطبقة الخارجية لهذا الغشاء المزدوج محدبة بينما تتميز الداخلية بما فيها من انثناءات ، وتمتد ثنياتها في أديم البلاستيدة لاسمياً في صغرها ، ويطلق على هذه الثنيات اسم كرسات (Cristas) ، أما المادة الأساسية فيطلق عليها اسم « السدى » (Stroma) ، وتبدو تحت المجهر الإلكتروني كمساحات فاصلة أو وضاعة (شكل ٧١) ، ويجب



صورة إلكترونية ملونة بلاستيكية خضراء و خلية من خلايا النسيج الوسطى لنبات التوت .

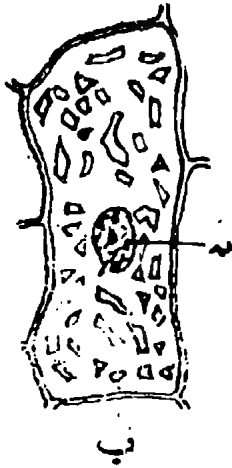
تميز هذه المساحات الوضاعة من مساحات أخرى تبدو تحت المجهر الإلكتروني داكنة اللون وكثيفة يطلق عليها اسم « الجيوب » (Grana) ، وبسبب انثناء الغلاف فإن البلاستيدة الخضراء تبدو مظهرياً وشكلياً كالميتوكوندريات التي سنتناولها بالدراسة فيما بعد . وتتكون كل حبة (Granum) من الصفائح (Lamellae) المرصوفة بعضها فوق البعض كالأقراص ، وتتكون كل صفيحة من غشاءين ، أي أن كل حبة تمثل كومة من صفائح قرصية الشكل ثنائية الأغشية ، كما أن هناك صفائح أخرى تصل الجرانات بعضها ببعض ويطلق عليها اسم الصفائح بين الجرانية (Intergranal lamellae) ، وتوجد أصباغ البلاستيدة الخضراء وبعض الإنزيمات في الصفائح .

وتعد صفائح الجرانات مقابلة للثيلاكويدات (Thylakoids) الموجودة في الخلايا بدائية النواة ، وهي تحتوي مثلها على اليخضور والأصباغ الأخرى التي تتصيد الضوء للقيام بعملية البناء الضوئي . وتشغل مادة البلاستيدة الأماسية وهي السدى (Stroma) - المساحات التي تقع بين الجرانات والتي تعبرها الصفائح الموصلة ما بين هذه الجرانات ، وإذا كانت البلاستيدات من الطراز الصانع للنشا فإن الحبيبات النشوية تشاهد مستقرة في السدى خارج الجيوب ولا يحيط بها أي غشاء ، بمعنى أن الحبيبات النشوية ليست تراكيب ذوات أغشية ، وتوجد قطيرات من الليبيدات في السدى .

البلاستيدات عديمة اللون (Leucoplasts) : هي بلاستيدات خالية من الأصباغ ، قد تكون قادرة على تكوين النشا أو غير قادرة ، وعندما تكون قادرة على تكوين النشا يطلق عليها اسم «أميلوبلاستات» (Amyloplasts) ، وهي أصغر حجماً من البلاستيدات الخضراء ولكنها تشابهها من حيث كونها مزدوجة الأغشية ، ويمتد الغشاء الداخلي في البلاستيدة عديمة اللون داخل تجويفها كما يحدث في الميتوكوندريات ، وتوجد بالسدى حبيبات ليبيدية ، وهي نادرة الوجود في الميتوكوندريات .

البلاستيدات الملونة (Chromoplasts) : هذه البلاستيدات تحمل أصباغاً

(شكل ٧٢)



صفراء أو برتقالية أو حمراء من الزانثوفيل والكاروتين ، وتبدو تحت المجهر (شكل ٧٢) متكورة أو عدسية الشكل أو قضبية أو مستطيلة أو مثلثة أو معينة ، وتكون مغلفة بأغشية بلازمية مزدوجة ، بها قليل من الامتدادات للداخل في بعض الأحيان ،

وتوجد بوفرة في جذور الجزر (البلاستيدات اللونية و : (١) جذر الجزر ، (ب) وبتللات بعض الأزهار وفي بعض الثمار كثمار الطماطم . أيضاً نواة الخلية (ن) ، (ع) - تراصبير .

٦ - الميتوكوندريات (Mitochondria)

كلمة ميتوكوندريون (Mitochondrion) مشتقة من لفظين إغريقيين لفظ (Mitos) بمعنى خيط ولفظ (Chondros) بمعنى حبة ، أي الخيط المحبب ، وتعرف الميتوكوندريات كذلك باسم الكوندريوسومات (Chondriosomes) وتكون هذه العضيات أصغر حجماً من البلاستيدات ، إذ أن أحجامها تماثل أحجام الخلايا البكتيرية بدائية الأنوية ، وتتراوح أقطارها ما بين ٥ و ١٥ ميكرون ، ويطلق عليها أحياناً اسم محطات توليد القوى (Powerhouses)

في الخلية ، لأنها تختص بتحويل الطاقة ، مثلها في ذلك كمثل البلاستيدات ، ولكنها لا تختص بالطاقة الضوئية كالبللاستيدات ، بل تحدث فيها تفاعلات تأكسدية ينتج عنها الإمداد بالإلكترونات ، مما يتسبب عنه إحداث سلسلة من التفاعلات المعقدة التي تؤدي إلى تكوين مركب « ثلاثي فوسفات الأدينوسين » (Adenosine triphosphate) الذي يشار إليه بالرمز (ATP) ، كما يطلق عليه اسم « مستودع الطاقة » بسبب قدرته على اختزان الطاقة في صورة فوسفات وإمداد الخلية بها كلما دعت الحاجة .

تركيب الميتوكوندريون : يطلق على هذا العضي أيضاً اسم « كوندريوسوم » وهو عضي حبيبي ، قد يكون كروياً أو أسطوانياً ، ويمتد طوله في الشكل الأسطواني حتى يصل إلى ثلاثة ميكرونات ، ويكون موزعاً في السيتوبلازم ، وقد تحتوي الخلية النباتية الواحدة على عدد كبير من هذه الميتوكوندريات ، يتراوح ما بين ١٠٠ و ٣٠٠ في كل خلية ، ولما كانت عديمة اللون تقريباً كان من العسير رؤيتها بالمجهر الضوئي إلا إذا صبغت التحضيرات المجهرية بصبغات معينة أو استعملت في تحضيرها وفحصها تقنيات خاصة ودقيقة ، وأمكن بالطرق الحديثة فصل الميتوكوندريون عن الخلية وتنقيته ودراسة وظيفته بمنأى عن الخلية .

والميتوكوندريون الأسطواني يكون ممدوداً ، مغلفاً بغشاءين - خارجي وداخلي - يتوسطهما سائل مائي ، ويبرز من الغشاء الداخلي إلى داخل (شمل ٧٣)



الميتوكوندريون كما يبدو تحت المجهر الإلكتروني ، ويظهر فيه الغشاء الخارج والداخلي والثنيتات الداخلية الممتدة في التجويف .

تجوييف الميتوكوندريون ثنيات (شكل ٧٣) يطلق عليها اسم كرسنات (Cristae) وتنتشر على سطح كلا الغشاءين آلاف الجزئيات الصغيرة الملتصقة بالسطح الخارجى للغشاء الخارجى وبسطح الغشاء الداخلى المواجه لتجوييف الميتوكوندريون وتعتبر هذه الجزئيات هى الوحدات الأساسية التى تقوم بالنشاط الكيميائى فى الميتوكوندريون . أما السائل الذى يتوسط الغشاءين فيؤدى وظيفة التوصيل بينهما وإمداد الإنزيمات الموجودة فى الأغشية بمرافقاتها الإنزيمية (Co-enzymes) وتعمل الأخيرة كعوامل مساعدة (Catalysts) لتمكين هذه الإنزيمات من إحداث تفاعلاتها .

وتكوين جدار الميتوكوندريون من غشاءين يتوسطهما سائل يكسبه مرونة مع قوة وتماسك ، ويتكون كل غشاء من مادتين : إحداهما البروتين ويمثل أربعة أخماس وزن كل غشاء والأخرى ليبيد ويمثل خمس الوزن ، ويكون الليبيد مفسفراً فى صورة فوسفوليبيد (Phospholipid) ، وتركيب الأغشية بذلك من هاتين المادتين ، وتوجد بداخل الميتوكوندريون مادة أساسية معتدلة الكثافة تسمى السدى (Stroma) توجد بها حبيبات شبيهة بالريبوسومات الموجودة فى السيتوبلازم ، وسنتحدث عنها فيما بعد ، ووجد حديثاً أنها تحتوى خيطاً من الحامض النووى (DNA) وآخر من الحامض النووى (RNA) . ويشير الرمز الأول إلى حامض الديوكسى ريبونوكليك والثانى إلى حامض الريبونوكليك . ويتشابه التركيب الدقيق للميتوكوندريون فى أساسياته فى كل من الخلايا النباتية والحيوانية .

٧ - الليسوسومات والأجسام الدقيقة :

تعد الليسوسومات (Lysosomes) والأجسام الدقيقة (Microbodies) من العضيات التى توجد فى جميع الخلايا النباتية تقريباً ، وكلاهما عبارة عن جسيمات صغيرة مستديرة الشكل يتراوح قطرها ما بين ٠,٥ و ١,٥ ميكرون ، ولم تستكشف الليسوسومات إلا حديثاً جداً . واكثرت من هذين العضيين غلاف من غشاء واحد ، ويختلف التركيب الداخلى لليسوسومات عن تركيب الميتوكوندريات ، ولو أن لها نفس الأشكال الخارجية والأحجام ، ويقوم

غشاء الليسوسومة بفصل الإنزيمات الهضم عن بقية الخلية واحتوائها بداخل الليسوسومة ، حيث تظل هذه الإنزيمات غير ناشطة إلى أن يتحطم الجدار الليسوسومي ويتحرر ما بداخله من إنزيمات ، وهذه الإنزيمات هي نفسها التي تقوم بتحطيم الغشاء ، ولا يحدث ذلك إلا أثناء إحلال خلايا جديدة مكان خلايا قديمة مسنة في كل من الحيوان والنبات ، ولذلك نعد الليسوسومات بمثابة أجهزة هضم « داخل - خلوية » (Intracellular) .

ومن المفروض أن الليسوسومات تحتوي على مختلف الإنزيمات التي تستطيع التأثير على كل واحد من المكونات الخلوية ، ومن بين هذه الإنزيمات إنزيم « الريبونوكلياز » (Ribonuclease) الذي يؤثر على الحامض النووي (RNA) وإنزيم « ديزوكسيريبونوكلياز » (Desoxyribonuclease) الذي يؤثر على الحامض النووي (DNA) .

أما الأجسام الدقيقة (Microbodies) فتتميز بمادة أساسية أكثر نجاسة من مادة الليسوسومات ، ويتشابه العضيان داخل الخلية من حيث الأشكال ، ولكن يلاحظ اختلافها في التركيب الكيميائي عندما ينزعان من داخل الخلية ويختبران ، حيث يحتويان على طرز مختلفة من الإنزيمات ، وعلى سبيل المثال يطلق على الأجسام الدقيقة عدة أسماء بحسب ما بها من محتويات ، فيطلق عليها أحياناً اسم « بيروكسيسومات » (Peroxisomes) وأحياناً أخرى اسم « جليوكسيسومات » (Glyoxysomes) حسب نوعية ما تحتويه من إنزيمات ، كما أطلق حديثاً على الأجسام الدقيقة المحتوية على زيت اسم « أليوسومات » (Oleosomes) .

٨ - السفيروسومات (Spherosomes) :

يمكن عند فحص الخلية فحصاً دقيقاً أن نتبين وجود جسيمات مكتملة التكبير وسريعة الحركة داخل الخلية ، وهذه الجسيمات يطلق عليها اسم السفيروسومات أو الأجسام الكروية ، ويعتقد أنها تكونت من الشبكة الإندوبلازمية ، ويحيط بكل جسيم منها غشاء واحد ، وهناك من يعتقد أن هذه الجسيمات هي أجزاء من الخلية متخصصة في إنتاج الدهون ، وبرغم ذلك فإن وظيفتها غير معروفة حتى الآن على وجه التحقيق .

٩ - السنتروسومات (Centrosomes) :

تشترك كلمة سنتروسوم (Centrosome) من لفظين إغريقيين ، أحدهما هو (Kentron) بمعنى مركز والآخر (soma) بمعنى جسم ، ولذلك فتعرف السنتروسومات باسم « الأجسام الكروية » ، وهى عضيات نجمية الشكل ومنشعة توجد ملاصقة للأغشية النووية . ويتركب كل سنتروسوم من حبيبة مركزية تسمى السنتريول (Centriole) تنبعث منها أشعة قطرية ، وأكثر ما توجد السنتروسومات فى الخلايا الحيوانية ، إلا أنها توجد كذلك فى بعض الخلايا النباتية ، وهى ذات علاقة بالانقسامات الخلوية ، ويوجد منها اثنان فى كل خلية .

ولا تظهر السنتروسومات والسنتريولات بوضوح تحت المجهر الضوئى إلا عند اقتراب لحظة الانقسام الفعلى للخلية ، حيث تقوم هذه العضيات بدور ناشط وهام أثناء هذا الانقسام ، وذلك باعتبارها أقطاباً للجهاز المغزلى الذى يقسم الصبغيات (Chromosomes) إلى أنصافها ويباعد بين نصفي كل منها بجذبهما تجاه القطبين المتقابلين .

ويتكون كل سنتريول من أسطوانتين صغيرتين - متعامدتين معاً على شكل زاوية قائمة - وتتكون جذرها من مجاميع من الأنابيب الصغيرة ، وينتج كل زوج من السنتروسومات زوجاً آخر مماثلاً له عند انقسام الخلية ، ويبدأ تكوين المغزل (Spindle) فى بداية الطور التمهيدي من أطوار الانقسام الخلوى ، ولا توجد سنتروسومات فى حالات كثيرة بين النباتات ، وتتكون أقطاب المغزل من جسيمات حبيبية كثيفة .

١٠ - الريبوسومات (Ribosomes) :

وبالإضافة إلى الريبوسومات الموجودة فوق أسطح الأغشية البلازمية : هناك ريبوسومات أخرى توجد حرة داخل السيتوبلازم وعدمية الاتصال بالشبكة الإندوبلازمية ، وتأخذ أعداد هذه الريبوسومات الحرة فى التناقص كلما تقدمت أعمار الخلايا ، فى حين تظل الريبوسومات المتصلة بالشبكة الإندوبلازمية كما هى بدون تناقص . والريبوسومات أهمية كبرى حيث تساهم

في تخليق البروتين ، كما تشارك كذلك الريبوسومات الموجودة فوق أسطح أغشية الشبكة الإندوبلازمية في بناء البروتينات ، كما تنتقل البروتينات المختلفة في تجاويف شبكة الأغشية .

وتتراوح أقطار الريبوسومات ما بين ١٥٠ و ٣٠٠ أنجستروم ، وتحتوى على ٥٠٪ إلى ٦٠٪ من وزنها بروتين وما بين ٤٠٪ و ٥٠٪ حامض نووى (RNA) ، ومادة حامض الريبونوكليك الموجودة في الريبوسومات تمثل الجانب الأكبر مما يوجد منها في الخلية جديدها ، وهو في الريبوسومات ثابت نسبياً . وقد تتجمع الريبوسومات الحرة أحياناً في مجموعات من أربعة أو أكثر ، وتسمى في هذه الحالة « مجاميع ريبوسومية » (Polyribosomes) .

الريبوسومات وتخليق البروتين : تعد عملية تخليق البروتين من العمليات الكبيرة والهامة التي تحدث في خلايا جميع الكائنات الحية ، والبروتينات هي مركبات ذات جزيئات معقدة التركيب من سلاسل طويلة من الأحماض الأمينية (Amino acids) ، وتتكون في جميع أجزاء الخلية ، وبالإضافة إلى ذلك فإن جميع الإنزيمات إنما هي بروتينات . وقد توصل العلم حديثاً إلى كشف هامة في مجال تخليق البروتين داخل الخلايا ، أتضح منها أن المواد ذات الصلة بتخليق البروتين في الخلايا هي الآتية : الأحماض النووية من حامض الريبونوكليك والديزوكسى ريبونوكليك ، وبوليمرات الأحماض النووية (Nucleic acid polymerases) وثلاثى فوسفات الأدينوسين (Adenosine triphosphate) والأحماض الأمينية .

١١ - الدكتيوسومات (أو أجسام جولجى) :

الدكتيوسومات (Dictyosomes) -- ومعناها الحرفى « الأجسام الشبكية » هي تراكيب غشائية ، وهي تعرف كذلك باسم « أجسام جولجى » (Golgi bodies) نسبة إلى العالم الإيطالى جولجى الذى كان أول من وصفها عام ١٨٩٨ ميلادية ، ووصفها بأنها شبكة من خيوط دقيقة للغاية ، وقد ظل معظم علماء الخلية منكبين لوجود جهاز جولجى لفترة طويلة بعد ذلك إلى أن تم اكتشاف المجهر الإلكتروني وأمكن باستعماله إمطة اللثام عن وجود ماهية هذه الدكتيوسومات .

التركيب الدقيق : كان أول وصف للتركيب الدقيق لجهاز جولجي منصّباً على الخلايا الحيوانية بالذات ، ثم اتضح فيما بعد أن له تركيباً مماثلاً في خلايا النباتات . ويتألف الدكتيوسوم من عدد من أقراص مفلطحة مستديرة الشكل ، يتراوح قطر كل منها ما بين ميكرون وثلاثة ميكرونات ويقع حجمها في مدى رؤية المجاهر الضوئية . وتكون هذه الأقراص مجوفة ومحاطة بغشاء شبيه بأغشية الشبكة الإندوبلازمية ، وتكون أغشية الدكتيوسومات عادة متصلة بأغشية الشبكة الإندوبلازمية ، ويتراوح سمك الغشاء ما بين أربعين وخمسين أنجستروم ، كما أن الفراغ الواقع بين الأقراص له نفس الشخانة ، ويتكون كل دكتيوسوم من عدد من هذه الأقراص المفلطحة يتراوح ما بين ثلاثة وثمانية ، ولكن قد يصل عددها إلى عشرين في بعض الطحالب ، وعادة ما يصل سمك الجسم الشبكي إلى ما بين ١ و ٠.٣ ميكرون .

وتعطي الأقراص المفلطحة الجوفاء فقائيع (Vesicles) تأخذ في الانفصال عن الدكتيوسومات - بعد التكوين - وتنطلق إلى السيتوبلازم ، ولذلك تعرف الدكتيوسومات بالتراكيب الفقاعية (Vesicular structures) ، وتبدو الأقراص هلالية الشكل في قطاعات عمودية على سطوحها وبها الفقاعات أكثر انتشاراً على سطحها المقعر ، وهذا التركيب مميز للغاية ويدل على أن جهاز جولجي (أو الدكتيوسوم) له وجود مستقل .

وجود الدكتيوسومات في النباتات : توجد الدكتيوسومات في جميع النباتات الوعائية والخزازيات والطحالب ، فيما عدا الطحالب الخضراء المزرققة بدائية النواة ، كما سجل حديثاً وجودها كذلك في الفطريات ، ولكن لم يثبت وجودها في البكتيريا ، فبدائيات الأنوية (البكتيريا والطحالب الخضراء المزرققة) تفتقر إلى وجود هذه الدكتيوسومات ، بينما توجد في النباتات حقيقية الأنوية بوجه عام ، مما يعزز ملاحظة الترابط الوجودي بين الدكتيوسومات والأغشية البلازمية في الطراز الأخير من النباتات ، وتتضمن الأغشية البلازمية الشبكة الإندوبلازمية وغشاء النواة وأغشية

ويصل عدد الدكتيوسومات في خلايا قمة الجذر - النشطة في النمو والانقسام إلى عدة مئات ، إلا أن هذا العدد يتناقص في الخلايا عديمة النشاط . وهناك افتراض آخر مطروح ، وهو أن الدكتيوسومات تقوم فسيولوجياً بوظيفة بناء مواد الجدار الخلوى ، ومما يعزز هذا الافتراض ظهور مواد بالجدار الخلوى موجودة داخل تراكيب تشبه الأكياس وتنتجها الدكتيوسومات ، وشوهدت متجهة نحو غشاء الخلية بالذات .

١٢ - النواة (Nucleus) :

في جميع الخلايا الحية بالنباتات حقيقية النواة (Eucaryotic plants) توجد النواة كأحد العضيات (ارجع إلى شكل ٦٧) ، وهناك بعض طرز من الخلايا تفقد نواتها عند اكتمال نموها مثل خلايا الدم في الحيوان وخلايا الأنابيب الغربالية في النبات ، وتشغل النواة الجانب الأكبر من حجم الخلية في الخلايا الإنشائية الحديثة التكوين والأعمار . وكذلك في الخلايا سريعة الانقسام ، أما في الخلايا المسنة فإنها تشغل حيزاً أصغر حجماً ، وقد تصبح عند ذاك منضغطة بين الفجوة العصارية والجدار .

الخلايا وحيدة النواة والخلايا متعددة الأنوية : تكون الخلايا وحيدة

النواة في غالبية النباتات الوعائية ، ولكن قد يحتوى البعض منها على نواتين أو أكثر ، مثل الخلايا البتوعية (Latex cells) والأنابيب البتوعية (Latex tubes) في بعض النباتات ، أما في النباتات غير الوعائية فيوجد الكثير من النباتات التي تحتوى كل خلية من خلاياها على أكثر من نواة ، كما هو الحال في بعض الطحالب مثل « الفوشيريا » (Vaucheria) وغيرها من أجناس تنتمى إلى رتبة الأنبوبيات (Siphonales) ، بل وقد يوجد عدد كبير من الأنوية منتشرة في كتلة سيتوبلازمية كما في بعض العفنيات الهلامية (Slime moulds) مثل البلازموديوم وفي الأميبا بين الحيوانات الأولية.

شكل النواة : تتباين أشكال النواة باختلاف طرز الخلايا وأعمارها

فتكون النواة في الخلايا حديثة التكوين كروية ، بينما تصبح في الخلايا

المسنة ذوات الفجوات مفلطحة ومنضغطة بين الفجوة والجدار ، أما في خلايا الكامبيوم فقد تتخذ النواة شكلاً عدسياً .

حجم النواة : تتراوح أقطار الأنوية في الخلايا الإنشائية الحديثة ما بين سبعة وعشرة ميكرونات ، بينما قد تصل في الخلايا المسنة الكبيرة إلى خمسين ميكرونات ، وفي الواقع تختلف أحجام الأنوية اختلافاً كبيراً ، والأحجام المذكورة آنفاً إنما تمثل متوسط الأحجام بوجه عام ، وتوجد بالإضافة إلى ذلك أنوية بالغة الضخامة مثل نواة لاقحة نبات السيكاكس - وهو من النباتات عاريات البذور - التي تصل ما بين ٥٠٠ و ١٠٠٠ ميكرون ، ويمكن رؤيتها بالعين المجردة ، وتوجد من ناحية أخرى أنوية تكون أحجامها متناهية في الصغر كأنوية الفطريات (Fungi) ، التي تتراوح ما بين ميكرون واحد وعشرة ميكرونات .

تركيب النواة : تكون النواة أكثر وضوحاً في الخلية الميتة منها في الخلية الحية ، وتحتوي النواة على عدد من الأجسام الكروية - يتراوح بين واحدة أو اثنتين أو أكثر - يطلق على كل واحدة منها اسم النوية (Nucleolus) ، يمكن بسهولة تمييزها عن مادة النواة بسبب أن معامل انكسارها أعلى من معامل انكسار النواة ذاتها . ونحاط نواة الخلية - في الخلايا حقيقية النواة - بغشاءين يكونان معاً ما يعرف باسم « الغلاف النووي » (Nuclear envelope) ، وتوجد في هذا الغلاف ثغوب مميزة تسمى « الثغوب النووية » (Nuclear pores) تقوم بوظيفة تسهيل التبادل مع السيتوبلازم والتحكم فيه ، وليست الثغوب - كما يبدو من اسمها - مجرد فتحات بسيطة ولكنها معقدة الشكل والتركيب ، إذ تبين أخيراً أن الكروموسومات (أو الصبغيات) تكون متصلة بهذه الثغوب النووية ، ومن اليسير رؤية هذه الثغوب باستعمال المجاهر الإلكترونية . وهذه الثغوب النووية ليست مفتوحة في كثير من الحالات وإن كانت تبدو مفتوحة في حالات أخرى ، وتوجد عادة حول كل ثقب تراكيب أسطوانية الشكل تبرز قليلاً داخل السيتوبلازم ،

ووظيفة هذه التراكييب هي عدم السماح للجزيئات الكبيرة بالانتشار والنفاذ من غشاء النواة ، بمعنى أن الغلاف النووي يؤدي وظيفة التحكم في مرور الجزيئات من وإلى النواة .

وتوجد امتدادات تنبثق من الغشاء الخارجى للنواة إلى داخل السيتوبلازم ويبدو أن هذا الغشاء على اتصال بجهاز الشبكة الإندوبلازمية ، وعن طريق امتدادات هذا الغشاء يتم الاتصال بين الفراغات الواقعة بين غشاءى الشبكة الإندوبلازمية وبين الفراغ المحيط بالنواة والذي يقع بين غشاءى الغلاف النووي ، ويمكن بذلك اعتبار الغشاء الخارجى للغلاف النووي بمثابة جزء منخصص من جهاز الشبكة الإندوبلازمية . وتوجد بداخل النواة مادة حبيبية يطلق عليها اسم « البلازم النووي » (Nucleoplasm) تكون منتشرة بين الكروموسومات ، إلا أن الأخيرة تكون من حيث اللون أدكن اصطباعاً ، أما النويات فيتركب كل منها من مكونات خيطية وحبيبية ولا يحدها غشاء خارجي .

الكروماتين النووي (Nuclear chromatin) : يوجد الكروماتين بالنواة ، والمعنى الحرفى لكلمة كروماتين هو « الجسم الملون » ، ويمثل في النواة المادة الوراثية ، ويتميز دائماً بعمق الاصطباع . وهناك طرازان من الكروماتين ، يعرف أحدهما بالكروماتين الشبكي (Reticulate chromatin) ويعرف الآخر باسم الكروماتين اللاشبكي (Areticulate chromatin) ، ويظهر الكروماتين في النواة الساكنة (Resting nucleus) - أى التى لا تكون في حالة انقسام - على شكل شبكة ، ويوصف عندئذ بأنه شبكي (Reticulate) ، كما هو الحال في بعض النباتات ، بينما لا يتخذ شكلاً شبكياً في نباتات أخرى ، ففي نبات القمح (Triticum vulgare) تظهر في النواة شبكة كروماتينية حقيقية ويوصف الكروماتين في هذه الحالة بأنه « حقيقى الشبكية » (Eu-reticulate) ، وذلك لتمييزه عن الشبكة الكروماتينية الأقل كثافة في نواة نبات البسلة (Pisum sativum) - على سبيل المثال - التى توصف بأنها شبكية . أما في خلايا نبات الفجل (Raphanus sativus)

فلا يظهر في النواة أى أثر لشبكة كروماتينية ، ولذلك يوصف الكروماتين فيها بأنه « لا شبكى » (Areticulate) .

الكروموسومات (أو الصبغيات) : أفضل ما تشاهد الكروموسومات (Chromosomes) أثناء الطور الاستوائى (Metaphase) للانقسام الخلوى ، حيث تبدو في هذا الطور في شكل تراكيب مزدوجة ، يتكون كل كروموسوم من نصبي صبغى (2 chromatids) يتصلان معاً عند مختنق خاص يعرف باسم السنترومير (Centromere) ، ويمكن في بعض أنواع من النباتات أن نرى في سر ووضوح أشكال هذه الأزواج من أنصاف الصبغيات ، ويساعد ذلك على معرفة طراز النواة ، ولكن بعد من الصعوبة بمكان في أنواع أخرى من النباتات تمييز ومعرفة طراز الكروموسومات حيث تكون الأخيرة صغيرة الأحجام وكثيرة الأعداد .

وقد أصبح واضحاً الآن أن الكروموسومات توجد في الخلايا الجسدية (Somatic cells) في أزواج ، ينتمى أحد فردى كل زوج منها إلى الأب أى « أبوى » (Paternal) وينتمى الآخر إلى الأم أى « أمى » (Maternal) ويوصف كل من هذين الصبغين بأنه مماثل (Homologous) للآخر ، وتعد هذه الصبغيات المتماثلة ذوات أهمية وراثية عظيمة ، وازدواجها هو الذى تكمن وراءه حكمة الانقسام الاختزالى (Meiosis) الذى يؤدى إلى تكوين الأمشاج (Gametes) ، وذلك لأن الإزدواج هو أولى الخطوات التى تسمح فيما بعد بتفريق وانفصال كروموسومى الأب والأم في كل زوج وتوزيعهما بين خليتين بنويتين مختلفتين فيما يتلو ذلك من عملية الانقسام الاختزالى ، مما يؤدى بالتالى إلى اختزال عدد الصبغيات في كل من المشيجين - الذكرى والأنثوى - إلى نصف العدد الموجود في الخلايا الجسدية لكل نوع من الكائنات .

١٣ - النوية (Nucleolus) :

إذا فحصت نواة مصبوغة لوحظ أن أجزاء معينة فقط من البروتين

النوى هى القابلة للاصطباج ، وهى التى تمثل المادة الأساسية للنواة ، إلا أن واحدة أو أكثر من هذه الأجزاء المصطبغة تكون أكثر وضوحاً من غيرها من الأجزاء ، تلك هى النويات (Nucleoli) ، وغالباً ما تكون النوية صغيرة الحجم وكروية الشكل ، إلا أن النويات بوجه عام شديدة التباين وكثيرة التغير من حيث الأشكال والأحجام ، وتختفى النويات عادة عندما تكون الخلية فى حالة انقسام ، ولم تعرف بعد على وجه التحقيق وظيفة النويات .

وتتكون النويات عادة فى مواضع معينة من النواة تعرف باسم « منظمات النوية » (Nucleolus organisers) ، وهى غنية بالحامض النووى ائريبوزى (RNA) ، ويختلف حجمها - وفى بعض الأحيان عددها - باختلاف الأنسجة فى نفس الكائن الحى ، ويتراوح قطرها عادة ما بين ميكرونين وخمسة ميكرونات ، وقد ثبت أخيراً أن تخليق الحامض النووى ائريبوزى الموجود بالريبوسومات يتم داخل النويات ، سواء فى خلايا الحيوان أو النبات .

(العلاقات الغشائية فى الخلايا حقيقية النواة)

مع بدء بزوغ تقنية استخدام المجاهر الإلكترونية ، لاستجلاء التفاصيل الدقيقة للتراكيب الخلوية ، أمكن رؤية الأغشية الخلوية - فى الخلايا المثبتة وفى خلايا القطاعات - على شكل خط فاصل يقع بين خطين داكنين ، وقد شبه هذا التركيب بشطيرة من بروتين على الجانبين بينهما الليبيد ، وأطلق على هذه الشطيرة اسم « وحدة الغشاء » (Unit membrane) ، وكان يغلب على الظن فى بادىء الأمر أنه غشاء غير متخصص يمكن أن تتشعب منه عدة طرز مختلفة من الأغشية المتخصصة وظيفياً ، ولكن تبين بعد ذلك - مما أجرى من دراسات كيميائية ومجهريية - وجود طرز كثيرة من الأغشية داخل الخلايا تساوى فى كثرتها تعداد الوظائف التى تؤدىها هذه الأغشية ، ولذلك فقد استبعد الكثيرون من البيولوجيين الأخذ بمبدأ « وحدة الغشاء » ، إلا أن آخرين استمسكوا به ولكن فى صورة محورة ، على اعتبار أنه التفسير

الوحيد للصورة الشطيرية التي تبرزها المجاهر الإلكترونية ، وهي صورة الخط
الناصل الواقع بين خطين داكنين ، وهذه الصورة ثابتة في جميع الحالات .

وبالرغم من التباينات التركيبية والوظيفية للأغشية فإن هناك طرازاً ثابتاً
من الأواصر التي تربط بينها جميعاً ، فهناك - كما سبق أن ذكرنا - استمرارية
لجهاز الأغشية فيما بين الغشاء الخارجى للغلاف النووى وأغشية الشبكة
الإندوبلازمية ، كما أن هناك علاقة كذلك بين أغشية الشبكة الإندوبلازمية
والأغشية التونوبلاستية ، كما تتصل الأغشية المغلفة للبلاستيدات والميتوكوندريا
بالأغشية الموجودة داخل هذين العضيين .





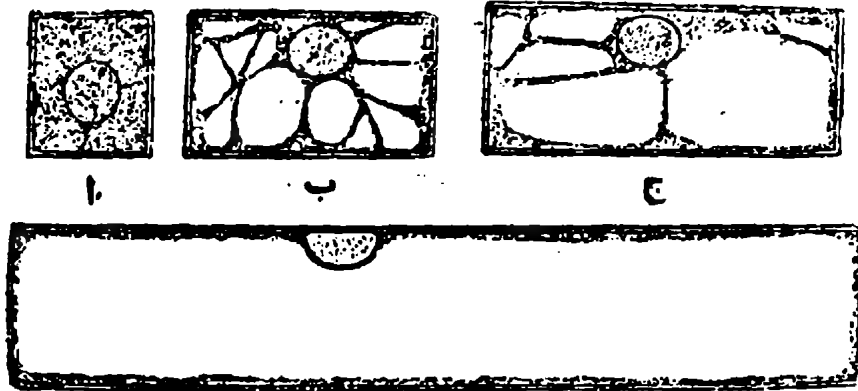
(المحتويات غير الحية للبروتوبلاست)

أو الميتابلازم (Metaplastm)

(أولا) العصير الخلوى

يوجد العصير الخلوى (Cell sap) داخل الفجوة العصارية (Vacuole) التى تحتل فى الخلايا البالغة حيزاً كبيراً من فراغ الخلية . أما فى الخلايا الإنشائية فلا وجود له على الإطلاق ، إذ يحتل السيتوبلازم والنواة جميع تجويف الخلية . ويتقدم الخلية فى العمر يبدأ ظهور فجوات صغيرة داخل السيتوبلازم ممثلة بمحلول مائى ، تتكون نتيجة لنمو الجدار الخلوى واتساعه بسرعة تفوق سرعة تكون البروتوبلازم ، فلا يستطيع الأخير أن يملأ الفراغ المتزايد داخل الخلية ، وتتجمع الفجوات الصغيرة عادة فى فجوة واحدة ، تكبر بالتدريج ،

(شكل ٧٥)



(١) خلية مرستيمية (إنشائية) ممتلئة بالسيتوبلازم وخالية من الفجوات العصارية .
(ب) بدء تكوين فجوات عصارية صغيرة ومتعددة داخل السيتوبلازم ، (ج) تكبر الفجوات وتأخذ فى الانحداد مع بعضها البعض ، (د) خلية بالغة بها فجوة عصارية واحدة كبيرة وقد انسكب السيتوبلازم إلى طبقة رقيقة مبطنة نطق الجدار من الداخل .

حتى تشغل معظم الخلية ، وعندئذ ينحصر السيتوبلازم فى طبقة رقيقة تبطن الجدار من الداخل (شكل ٧٥) . وفى الخلايا التى تشغل نواتها الجزء المركزى تخترق الفجوة خيوط وصفائح بروتوبلازمية تصل ما بين السيتوبلازم المركزى المحيط بالنواة والسيتوبلازم المحيطى المبطن للجدار

والعصير الخلوى محلول مائى لمواد مذخرة أو ناتجة من عمليات التحول الغذائى أو الأيض (Metabolism) ، وتختلف محتويات العصير من خلية لأخرى ، وأحياناً من فجوة لأخرى فى نفس الخلية ، ويكون بعضها محلولاً حقيقياً ، بينما يكون البعض الآخر محلولاً غروائياً .

ومن بين المواد التى يحتويها العصير أملاح معدنية ، منها النيترات والكبريتات والفوسفاتات ؛ ومواد كربوهيدراتية - كالكسكاكر بأنواعها - وكذلك الإنيولين (Inulin) الذى تتميز به نباتات الفصيلة المركبة بنوع خاص . ويوجد بالعصير أحماض عضوية كأحماض التفاحيك (Malic) والأكساليك والطرطريك وأملاحها ، ويعمل وجودها على جعل العصير حامضى التفاعل . وفى الفطريات يكثر وجود النشا الحيوانى (Glycogen) ، وفى بعض النباتات يحتوى العصير قلوانيات (Alkaloids) ، وفى نباتات أخرى توجد بروتينات ومواد دهنية . وهناك طائفة من النباتات تحتزن المواد السكرية فى خلايا بعض أعضائها دون البعض الآخر ، كجذور البنجر والجزر وثمار العنب وسيقان القصب ، وغير ذلك . وفى بتلات بعض الأزهار كأزهار الخبيزة والجارونيا (Pelargonium) توجد أصباغ ذائبة فى العصير الخلوى ، تعرف بالأصباغ الأنثوسيانينية (Anthocyanin pigments) وهى حمراء أو زرقاء أو صفراء ، تكسب العصير والأزهار اللون الخاص بها . والعصير الخلوى سائل كثيف ، يفصله عن سيتوبلازم الغشاء البلازمى الداخلى ، وتوجد به أحياناً مواد مخاطية كما فى الأبصال والنباتات العصيرية كأنواع الصبار (Cactus) ، والأراشيد (Orchids) .

(ثانياً) نواتج أيضية

١ - المواد الكربوهيدراتية :

توجد المواد الكربوهيدراتية فى الخلايا النباتية على حالة ذائبة أو صلبة ، وأهم الكربوهيدرات الذائبة هى السكاكر ، كسكر العنب (Glucose) ،

وسكر الفاكهة (Fructose) وسكر القصب (Sucrose) . ويوجد الأخير بنسبة عالية في بعض النباتات كقصب السكر والبنجر . ومن الكربوهيدرات الذائبة أيضاً الإنولين (Inulin) وهو عديد التسكر (Polysaccharide) ، ويوجد في الجذور الدرنية لنبات الداليا (Dahlia) وغيره من نباتات الفصيلة المركبة ، ويترسب بالكحول على هيئة بلورات مستديرة داخل الخلايا .

وأهم المواد الكربوهيدراتية المدخنة في النباتات هي النشا ، وهناك نوعان منه : انتقالي واختزاني ، أما الانتقالي فهو الذي يتكون داخل البلاستيدات الخضراء في خلايا الأوراق عند تعرضها للضوء ، وتظل حبيباته صغيرة الحجم وتتكون بكميات كبيرة ، وتتحول أثناء الليل إلى مواد سكرية ذائبة تنتقل إلى أعضاء الاختزان ، حيث تتحول داخل البلاستيدات عديمة اللون إلى حبيبات من النشا الاختزاني .

ويوجد النشا الاختزاني بوفرة في مختلف أعضاء الاختزان ، مكوناً غذاءً مدخراً ، كما في درنات البطاطس والبطاطا وكورمات الفلقاس وفي الريزومات والبذور والحبوب كحبوب القمح والذرة والشعير . والمصدر الرئيسي للنشا التجاري هو الحبوب ، فحبوب الذرة تحتوى منه على ٦٠٪ من وزنها ، وتحتوى حبوب الأرز على أعلى نسبة معروفة من هذه المادة ، إذ تبلغ ٨٥٪ ، أما درنات البطاطس فتحتوى على نسبة أقل . ويتكون النشا الاختزاني من حبيبات منضغطة أو مستديرة أو بيضاوية ، تبدو تحت المجهر كأجسام لامعة ، يختلف حجمها في النباتات المختلفة ، فتصل إلى ١٠٠ ميكرون في البطاطس ، وأقل من ذلك في النباتات الأخرى . وإذا فحص نشا البطاطس تحت المجهر — بعد صبغه بمحلول اليود المخفف حتى يأخذ لوناً أزرق باهتاً — فإنه يلاحظ أن الحبيبات بيضية الشكل غالباً ، أحد طرفيها ضيق والآخر عريض . وأنها تتكون من طبقات متميزة ، تختلف في كثافتها الواحدة عن الأخرى (شكلاً ٧٦، ٧٧) ، وتمثل كل طبقة الزيادة التي طرأت على حجم الحبيبة خلال فترة معينة . والاختلاف كثافة الطبقات بسبب اختلافاً في درجة انعكاس الضوء

(شكل ٧٦)



حيبيات النشا في درنات البطاطس : (أ)
حيبية بسيطة ، (ب) حيبية نصف مركبة ،
(ج) ، (د) حيبيتان مركبتان ، عن
سراخس جرجر .

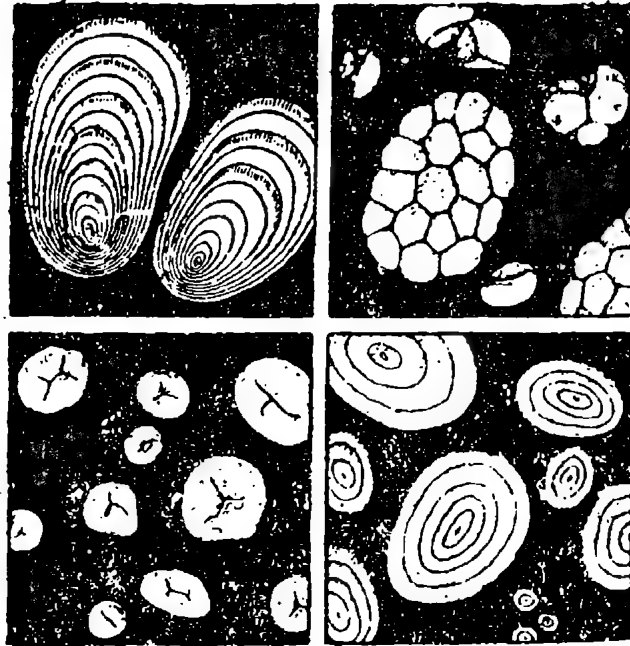
منها ، ويسبب هذا بالتالي اختلافاً
في درجة وضوحها ، مما يساعد على
تمييز طبقات متعاقبة تحت المجهر .
وطبقات النشا مرتبة في البطاطس
حول نقطة واحدة تسمى السرة
(Hilum) ، خارجة عن مركز
الحيبية ، وأقرب إلى طرفها الضيق
منها إلى الطرف العريض ، ولذلك
توصف الحبيبات النشوية في البطاطس
بأنها لا مركزية (Eccentric) كما
في شكل (٧٦ : ١ ، ٧٧) .

ومعظم حبيبات البطاطس ذات
سرة واحدة وتسمى حبيبات بسيطة

(شكل ٧٦ : أ) ، غير أن هناك قلة من هذه الحبيبات لكل منها سرتان
أو أكثر ، تعرف بالحبيبات المركبة (شكل ٧٦ : ج ، د) ، وتتلاصق
الحبيبات الجزئية في الحبيبة المركبة ، وتتحد دون أن تغلفها طبقات مشتركة .
وهناك أيضاً حبيبات نصف مركبة تتكون من حبيبتين أو أكثر ذات أغلفة
خارجية مشتركة من طبقات النشا (شكل ٧٦ : ب) . هذه الأنواع جميعها
— البسيطة والمركبة ونصف المركبة — موجودة في نشا البطاطس .

أما في بذور البقوليات والحبوب ، فإن الحبيبات النشوية تكون في الغالب
مركزية (Concentric) ، بمعنى أن السرة تقع في مركز الحبيبة ، وفي البسلة
تستطيل السرة بعض الشيء بدل أن تتركز في نقطة محددة . وفي بذور الفاصوليا
تشع من السرة شقوق قطرية ، تخترق طبقات النشا المتعاقبة متجهة نحو سطح
الحيبية (شكل ٧٨) . وفي الأرز (شكل ٧٧) والشوفان لا توجد سوى
حبيبات مركبة ، تتكون كل واحدة منها من عدد كبير من الحبيبات الجزئية ،

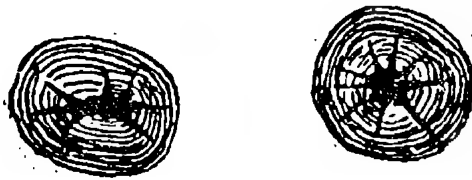
(شكل ٧٧) .



حييات نشوية ذات أشكال مختلفة: اشياء البطاطس والذاتية العليا الى البين ، وشيء الذرة والذاتية العليا الى البين ، وانحاء الارز ذو الحبيبات الماركة والذاتية العليا الى البين ، وشيء الفصح والذاتية السفلى الى البين ، عن سينوت وواحد .

يتراوح بين أربع حبيبات ومائة حبيبة ، وهذه الحبيبات الجزئية مضلعة وصغيرة غاية الصغر ، لا يمكن فيها تمييز السرة ولا الطبقات النشوية لصغرها ، أما في الذرة (شكل ٧٧) فالحييات صغيرة نوعاً ، مستديرة أو مضلعة ، ولكنها بسيطة ذات سرة واحدة في شكل شق طولي متفرع ، والطبقات غير واضحة .

(شكل ٧٨)



والعامل الذي يتحكم في شكل

حبيبة النشا هو موضع تكوينها

داخل البلاستيدة عديمة اللون ،

فإذا كانت الحبيبة أثناء تكوينها

محاطة بالبلاستيدة إحاطة

حييات النشا في بغور الفاصوليا .

منتظمة فإنها تصبح مركزية . أما إذا بدأ تكوينها بالقرب من أحد قطبي

البلاستيكية فإن نموها يكون أسرع في اتجاه القطب الآخر الحر ، وبذلك يكون سمك الطبقات أكبر في اتجاه ذلك القطب ، وتصبح السرة أقرب إلى أحد القطبين منها إلى الآخر ، وبذلك تكون لا مركزية. وأحياناً يبدأ تكون عدة حبيبات في وقت واحد داخل نفس البلاستيكية عديمة اللون ، فتتلاقى وتزاحم أثناء نموها ، وتتكون حبيبات مركبة ، فإذا استمر تكون النشاء بعد تلاقعها وأضيفت طبقات منه تغلفها جميعاً بأغلفة مشتركة ، أصبحت الحبيبات نصف مركبة .

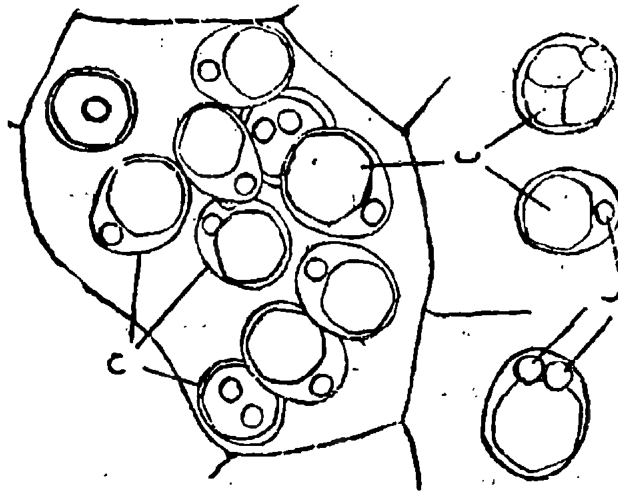
٢ - المواد البروتينية :

تحتزن المواد البروتينية أحياناً في حالة سائلة بالعصير الخلوي للأجزاء العصيرية في بعض النباتات ، كما أنها تدخل في مركبات معقدة لتكوين البروتوبلازم نفسه . وفضلاً عن ذلك فإنها توجد في حالة صلبة ، على هيئة حبيبات بخلايا أعضاء الاختزان ، كبذور كثير من النباتات ، وتعرف إذ ذاك بالحبيبات الأليرونية (Aleurone grains) ، وهي كبيرة الحجم عادة في البذور الزيتية كبذور الخروع ، صغيرة في البذور النشوية كبذور البسلة .

فإذا قطعنا قطاعاً مستعرضاً رقيقاً في إندوسبرم بذرة الخروع (شكل ٧٩) ثم فحصناه بالمجهر ، فإننا نلاحظ امتلاء الخلايا بحبيبات كبيرة نسبياً ، هي الحبيبات الأليرونية ، وتنشأ كل حبيبة أثناء نضج البذرة داخل فجوة عصارية غنية بالمواد البروتينية . ولكل حبيبة غلاف يمثل الغلاف الأصلي للفجوة ، وبداخله مادة بروتينية دقيقة غير متبلورة (Amorphous) منغمس فيها جسم أو أكثر ، وأحد هذه الأجسام مضلع بللورى الشكل ويعرف بالجسم شبه البللورى (Crystalloid) ، والآخر مستدير وأصغر من السابق ويعرف بالجسم شبه الكروي (Globoid) ، وكلا الجسمين من مادة بروتينية ، غير أن البروتين في الجسم شبه الكروي متحد مع فوسفات الكالسيوم والمغنسيوم ، ويوجد أحياناً أكثر من جسم شبه كروي واحد في الحبيبات الأليرونية ، كما قد يوجد أكثر من جسم بللورى واحد .

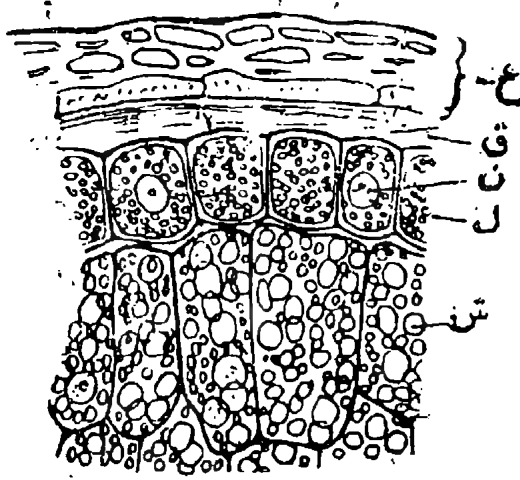
أما في الفول والبسلة - وغيرها من بذور القرنيات - فتكون الحبيبات

أصغر حجماً منها في البذور الزيتية ، ولا تتميز بها أجسام شبه كرية كما في الخروع . فإذا قطع في



الاندوسبرم بذرة الخروع ، وتري به الحبيبات الأليرونية (ج) وبداخلها الأجسام شبه الكروية (ب) والأجسام شبه السكرية (د) (عن فرنش وساليسوري)

(شكل ٨٠)



أطام مستعرض في حبة القمح ، ويري به غلاف الثمرة (ع) من الخارج ، مائتعا بالقمح (ن) وبإل ذلك الإندوسبرم مبدئا بالطبقة الأليرونية ، ذات الخلايا الممتلئة بالحبيبات الأليرونية (ل) ، ويمكن مشاهدة النواة (ن) في كل خلية ، وبداخل الطبقة الأليرونية يتكون الإندوسبرم من طبقات عديدة من خلايا ممتلئة بحبيبات النشاء (ش) ، (عن ستراسبرجن) .

الحروع . فإذا قطع في

إحدى فلقتي بذرة البسلة

قطاع مستعرض ، ثم

فحص بالمجهر ، فإنه

يلاحظ وجود حبيبات

نشوية داخل الخسلايا

مختلطة بحبيبات دقيقة

أصغر منها هي الحبيبات

الأليرونية ، تمتلئ بها

الفراغات التي بين حبيبات

النشا . وتصطبغ الحبيبات

الأليرونية بلون أصفر أو

بنى باهت ، وبهذا الاختبار

يمكن تمييز نوعي الحبيبات .

وفي القمح (شكل ٨٠)

توجد طبقة واحدة من

الخلايا تحت أغلفة الحبة

مباشرة تسمى الطبقة

الأليرونية .

(Aleurone layer)

تمتلئ بالحبيبات الأليرونية

الدقيقة ، التي تصطبغ باللون

الأصفر إذا عولجت

بمحلول اليود . وتلي تلك

الطبقة طبقات عديدة من

خلايا أكبر حجماً تشغل الإندوسبرم بأجمعه عندا الطبقة الأليرونية ، وتمتلئ بحبيبات النشا .

٣ - الزيوت والدهون (Oils and Fats) :

توجد الزيوت في معظم الخلايا النباتية الحية على هيئة قطرات مستديرة لامعة بالعصير الخلوي أو السيتوبلازم . وهناك طائفة من النباتات تحتزن الزيوت في خلايا بذورها أو ثمارها بكميات وفيرة تسمح باستغلالها اقتصادياً . ومن أمثلة هذه النباتات القطن والخروع والكتان ، ويكون الزيت أحياناً ٧٠ ٪ من الوزن الجاف للبذور .

كذلك توجد زيوت طيارة (Ethereal oils) في خلايا أزهار بعض النباتات ، تكسب الأزهار رائحة زكية تجتذب إليها الحشرات التي تقوم بعملية التلقيح .

٤ - بللورات أكسالات الكالسيوم .

تتكون هذه البللورات في الخلايا النباتية كبعض نواتج التحول الغذائي وقلما يخلو منها نبات أو عضو نباتي . وهي تنشأ داخل الفجوة العصارية ، وترداد في الحجم تدريجياً حتى تشغل معظم فراغ الخلية ، وتختفي المحتويات الأخرى ، وقد يصبح الجدار الخلوي نفسه غليظاً ، كما تصبح الخلية جميعها بمثابة مستودع للبللورة أو البللورات المتكونة فيها .

والبللورات إما أن تتكون فرادى ، واحدة داخل كل خلية ، كما في الأثل (Tamarix) وبعض أنواع الموالح (شكل ٨١ : أ) ، وفي هذه الحالة تكون البللورة كبيرة مضلعة ، أو في مجموعات بحيث تحتوى الخلية الواحدة على عدد منها ، وبعض البللورات كبيرة الحجم نجمية الشكل كثيرة التواءات وتعرف بالبللورات الوريدية (Rosette crystals or Druses) ، ومن أمثلتها البللورات الموجودة في سيقان وجذور القطن والأرابا (شكل ٨١ : ج) . وهناك أيضاً البللورات الإبرية (Raphides) وتتكون عادة في حزم كبيرة داخل خلايا خاصة متميزة (شكل ٨١ : ب) .

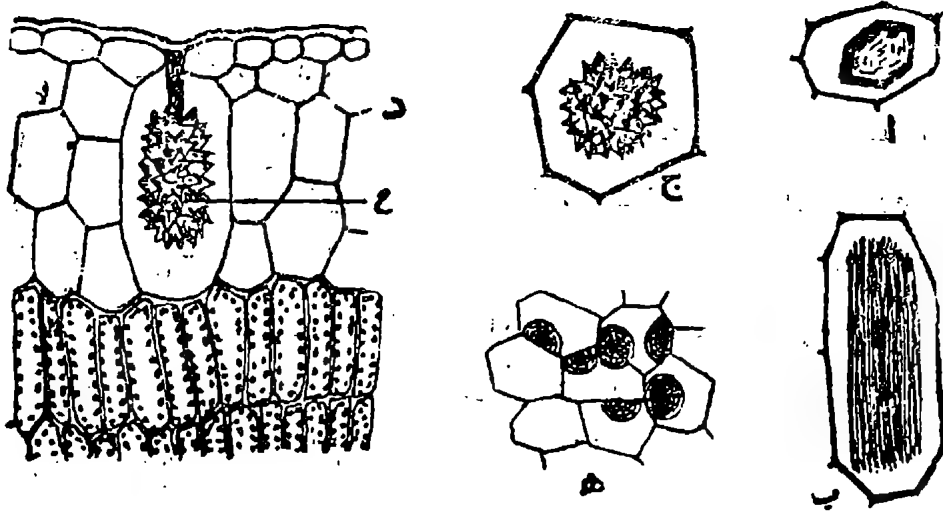
كما في سيقان الدراسينا (*Dracaena*) ، والحزم الإبرية هي النوع الغالب بين نباتات ذوات الفلقة الواحدة .

وتنشأ بللورات أكسالات الكالسيوم أثناء عمليات التحول الغذائي ، وهي غير قابلة للذوبان ، ولذلك تحتفظ بحالتها الصلبة البلورية داخل الخلايا وتوجد عادة بوفرة في الأنسجة والمواقع التي تنشط بها عمليات التحول الغذائي .

٥- كربونات الكالسيوم :

تتكون أحياناً داخل الخلايا النباتية أجسام صلبة من كربونات الكالسيوم ومن أهم أمثلة هذه الظاهرة الحويصلة الحجرية (*Cystolith*) التي تتكون في خلايا البشرة بنبات التين المطاط (*Ficus elastica*) إذ تكبر بعض خلايا البشرة في أوراق هذا النبات وتتسع ، ويتبدل من جدارها الخارجي عنق طويل داخل الخلية ، ترسب عليه بللورات من كربونات الكالسيوم ، لا تزال تكبر وتتجمع حتى تكون جسماً عنقودياً كبيراً ، يشبه عنقود العنب (شكل ٨١ : د) ويشغل معظم فراغ الخلية ، ويتبقى جزء من العنق

(شكل ٨١)



(١) بللورات معددة في نبات الأثل ، (ب) حزمة من البللورات الأبرية في نبات الدراسينا ، (ج) بللورات وريعية في لحاء جذور القطن المسنة ، (د) قطاع مستعرض في نبات التين المطاط تظهر به الحويصلة (ح) ، (هـ) بللورات الانبوابين مرسية في طبقات على جدر الخلايا في الجذور الدورية لنبات الداليا .

عارياً من الرواسب ناحية الجدار الخارجى . ويمكن الكشف عن كربونات الجير في الحويصلة الجيرية بإضافة بضع قطرات من حمض الإيدروكلوريك المخفف لقطاع في ورقة نبات التين المطاط ، وملاحظة تصاعد فقاعات من غاز ثالى أكسيد الكربون ، فإذا فحص القطاع بعد ذلك لوحظ اختفاء الرواسب الجيرية المكونة للحويصلة .

٦ - القلوانيات (Alkaloids) :

القلوانيات هي مركبات عضوية نيروجينية معقدة التركيب ، توجد إما في حالة ذائبة في العصير الخلوى وإما في حالة صلبة ، وهي مواد سامة بعضها قوى المفعول ، ولها أهمية خاصة في الطب . وتكثر القلوانيات في بعض الفصائل النباتية كالفصيلة الشقية (Ranunculaceae) وفصيلة حنك السبع (Scrophulariaceae) والفصيلة الباذنجية (Solanaceae) والخيمية (Umbelliferae) ، وتعتبر هذه المواد نواتج ثانوية لعمليات التحول الغذائى . وبين (جدول ١) بعض القلوانيات الهامة ومصادرها النباتية وبعض استعمالاتها الطبية .

٧ - الجليكوسيدات (Glycosides) :

تركب الجليكوسيدات من جلوكوز - أو سكر آخر - متحداً مع مواد أخرى ، غالباً من المجموعة العطرية . ومن أمثلتها مادة الأميجدالين (Amygdalin) الموجودة في نوى الخوخ والمشمش والبرقوق ، ومادة الساليسين (Salicin) الموجود في الصفصاف ، وتستخرج الزيوت الحريفة التي تتميز بها نباتات الفصيلة الصليبية - كزيت المسطردة مثلاً - من جليكوسيدات توجد بهذه النباتات . وتحلل الجليكوسيدات بمساعدة إنزيم الإمالسين (Emulsin) إلى جلوكوز ومواد أخرى .

٨ - اليتوع « اللب النباتى » :

اليتوع (Latex) مستحلب مائى أبيض - أو أصفر أحياناً - لخليط من مواد بروتينية ومخاطية وسكرية وأصبغ وقلوانيات وأملاح ودهون

(جدول ١)

(بعض القلوانيات النباتية ومصادرها وتأثيراتها الفسيولوجية)

اسم القلواني	المصدر النباتي	التأثير الفسيولوجي
أتروبين (<u>Atropine</u>)	أتروبا بلادونا (<u>Atropa belladonna</u>)	يستعمل في جراحة العيون، لإذ يسبب عيوله اتساع حدقة العين.
إفيدرين (<u>Ephedrine</u>)	إفيدرا فولجارس (<u>Ephedra vulgaris</u>)	تأثيره على العيون كآثار الأتروبين. ويستعمل أيضاً كطهر للحلق والآنف.
كينين (عقار الكينا) (<u>Quinine</u>)	قاف أنواع مختلفة من نبات الكينا (<u>Cinchona</u>)	يستعمل كدواء لعلاج الحميات المتقطعة كالمالاريا وحي المستنقعات.
كوكاين (<u>Cocaine</u>)	أوراق نبات الكولا (<u>Erythroxylon coca</u>)	يستعمل كمخدر موضعي في جراحة العيون والأسنان.
هوسيامين (<u>Hyoscyamine</u>)	نبات السكران (<u>Hyoscyamus spp</u>) الذي ينمو بالصحاري المصرية وغيرها	يستعمل في نفس الأغراض الطبية التي يستعمل فيها الأتروبين.
ستريكنين (<u>Strychnine</u>)	بدور شجرة الجوز المقي (<u>Strychnos nux-vomica</u>)	عقار شديد السمية ويستعمل كممنع للقلب والجهاز التنفسي.
كافين (<u>Caffeine</u>)	شجرة البن (<u>Coffea arabica</u>)	منه للجهاز العصبي

ودباغيات ، مع نسبة من مادة الكاوتشوك التى يصنع منها المطاط تختلف باختلاف النباتات ، ولكنها عالية فى نبات المطاط (*Hevea brasiliensis*) بالذات ، لدرجة تسمح باستخدامه فى صناعة هذه المادة . وفى نبات الخشخاش يحتوى اللب على قلوانى المورفين . أما الباباز (*Carica papaya*) فيحتوى على إنزيم الباباين (*Papain*) الذى يساعد على هضم المواد البروتينية . وتفرز البتوت خلايا أو قنوات إفرازية خاصة منتشرة فى أنسجة النباتات .

٩ - الدباغيات (Tannins) :

الدباغيات مواد قابضة توجد فى القلف والخشب وغيرها من أنسجة وأعضاء ، وهى تساعد على التثام الجروح ومنع التحلل ، وقد تلعب دوراً فى تكوين الفلين والأصباغ ، وتستغل فى بعض الصناعات مثل دباغة الجلود وصناعة الأصباغ والأحبار ، فى دباغة الجلود تتفاعل الدباغيات مع الجيلاتين الموجود فى جلد الحيوان لتكوين مادة قوية متماسكة ، أما استغلالها فى صناعة الأصباغ والأحبار فيرتبط بقدرتها على التفاعل مع أملاح الحديد وتكوين مادة سوداء .

١٠ - أحماض عضوية (Organic acids) :

الأحماض العضوية واسعة الانتشار بين النباتات ، وتتركز بوجه خاص فى الثمار ، وهى توجد إما مستقلة فى صورة أملاح كالسيومية أو بوتاسيومية أو صوديومية ، وإما متحدة مع الكحول ، وتقوم بدور هام فى أيض النبات ونموه ، ومن أمثلة هذه الأحماض حمض الأوكساليك (*Oxalic acid*) الذى يوجد على هيئة أملاح البوتاسيوم فى نباتى الحميض (*Oxalis*) والحماض (*Rumex*) « وحمض التفاحيك (*Malic acid*) فى ثمار التفاح الفجة والأعشاب وغيرها من ثمار ، وحمض الطرطريك (*Tartaric acid*) الذى يوجد على هيئة أحد أملاحه البوتاسيومية فى أنواع متعددة من الثمار ، وخاصة الأعشاب ، وحمض الليمونيك (*Citric acid*) الذى يوجد فى حالة حرة فى الليمون والبرتقال .

١١ - الفيتامينات (Vitamins) :

توجد الفيتامينات بكميات ضئيلة ، وتعد أساسية في غالبية العمليات الأيضية ، بل وتعد ضرورية لجعل عمليات الأيض والنمو والتكاثر طبيعية ، وتعد النباتات بوجه عام المصادر الرئيسية للفيتامينات ، ويبين (جدول ٢) بعض الفيتامينات الموجودة في النباتات .

١٢ - الإنزيمات (Enzymes) :

تعد الإنزيمات من أهم المحتويات غير الحية للخلية ، ويتركب كل منها من جزء بروتيني وآخر غير بروتيني يتباين من حيث تركيبه الكيميائي باختلاف وظيفة الإنزيمات ، كما تختلف هذه الإنزيمات فيما بينها من حيث ما تستطيع إتمامه من تفاعلات وسيأتي ذكر ذلك في باب خاص بها .

ويرتبط توزيع هذه الإنزيمات بما يوجد في الخلية من شتى العضيات ، فتقوم كل من الشبكة الإندوبلازمية والريبوسومات بدور هام من حيث احتوائها على إنزيمات تعمل على بناء المواد البروتينية ، كما تحتوي الميتوكوندريات على الإنزيمات التنفسية ، وهي الإنزيمات المختصة بالتفاعلات المولدة للطاقة في الخلية ، أما الميكروسومات فتسيطر على إفراز الإنزيمات الهاضمة في الخلايا الحية .

الجدار الخلوي

تحاط الخلايا النباتية عادة بجدار متين ، يعرف بالجدار الخلوي (cell wall) وهو يغلف البروتوبلاست ولا يعتبر من بين الأجزاء الحية بالخلية . وهناك أنواع خاصة من الخلايا النباتية - كالحايات التناسلية مثلاً - تظل عارية لا يغلفها جدار . والجدار الخلوي هو الذي يحدد شكل الخلية وذلك لأن البروتوبلاست يتكون من مادة سائلة أو نصف سائلة . ليس لها قوام متماسك ، وإنما تتشكل بشكل الجدار الذي يحتويها . ويؤدي الجدار وظيفة الحماية للبروتوبلاست ، كما يعطيها صلابة ومتانة ، وتحدث هذه

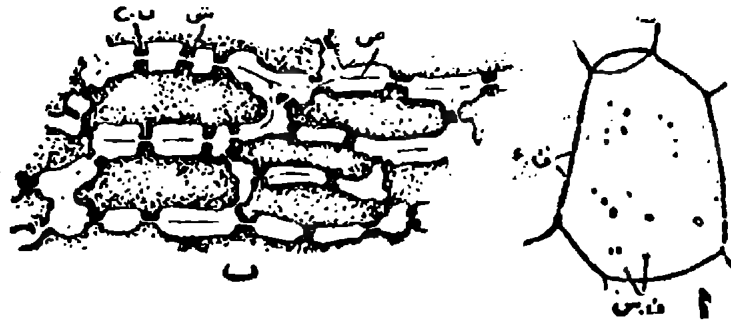
(جدول ٢)

جدول يبين بعض الفيتامينات الموجودة في النباتات ، كما يبين المصدر النباتي لكل فيتامين وتأثيره العلاجي .

اسم الفيتامين	المصدر النباتي	التأثير العلاجي
فيتامين أ	يعد الكاروتين مولد هذا الفيتامين	مضاد لحفاب العين
فيتامين ب _١ (ثيامين)	حبوب القمح والشعير والارز والشوفان والبقليات كالبنسلة والبقول والعدس	مضاد لمرض البري بري ،
فيتامين ب _٢ (ريبوفلافين)	الخباز الشعير	يمنع عن نقصه حدوث بعض التهابات جلدية وتكوين شعيرات دموية داخل قرنية العين
فيتامين ب _٣ (بيرو دو كسين)	الحبوب والبقليات	ضروري لتكوين هيموجلوبين الدم
فيتامين ب _٥ (حمض نيكوتينيك)	حبوب كثريرة	مضاد لمرض البلاجرا
فيتامين ج (حمض الاسكوربيك)	في كثير من الفواكه والخضروات النضيرة وتعد الموالح أهم مصادره	مضاد لمرض الاسقربوط

التقوية بتأثير عاملين هامين : الأول امتلاء الخلية - أى انتفاخها (Turgoi) - والثانى تغلظ الجدار . وتفسير العامل الثانى هو أن الأغشية الأولية الرقيقة التى تنشأ بين الخلايا المتجاورة فى بدء تكوينها تتغلظ بالتدريج ، إما تغلظاً منتظماً يشمل الجدار كله أو تغلظاً غير تام تتخلف عنه أجزاء رقيقة تظل غير مغلظة ، وتعرف بالنقر (Pits) - شكل ٨٢ - وذلك هو الغالب فى معظم الخلايا . وتبدو هذه النقر فى القطاع المستعرض كأجزاء غائرة عن مستوى سطح الجدار ، تغطيها أغشية رقيقة تعرف بأغشية النقر (Pit membranes) ، وتتقابل النقر عادة فى الخلايا المتجاورة مكونة أزواجاً نقرية (Pit pairs) متقابلة ، يفصل كل زوج منها غشاء مشترك . وتظهر فوهات النقر فى منظر سطحى كبقع مستديرة لامعة (شكل ٨٢) . وإذا زاد الجدار زيادة كبيرة فإن النقر تصبح عميقة ، وتتخذ شكل قنوات تصل ما بين فجوة الخلية وسطحها ، كما فى الخلايا الحجرية لثمار الجوافة والكثيرى (شكل ٨٣) ، ونسمى النقر فى هذه الحالة « نقر قنوية » (Canal pits) ، وقنواتها فى العادة ضيقة ، وقد تكون متفرعة .

(شكل ٨٢)

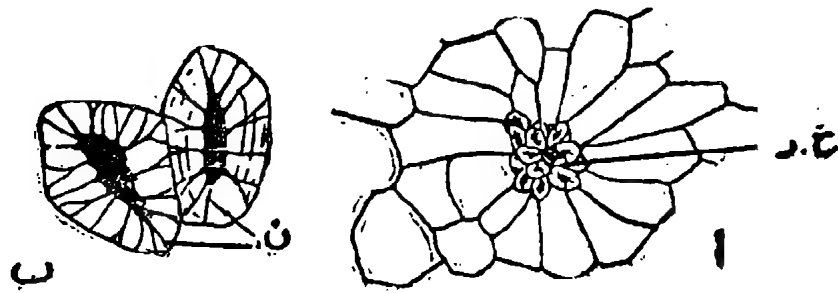


الحمر الخلوية المظلمة : (١) خلية ناعم نبات البيلسان (Elder) ، (ب) قطاع و جزء من الدوسم بفرقة الباج ، (ش) غشاء النقرة ، (س) الصفيفة الوسطى ، (ن . س) منظر سطحى لנקرة ، (ن . ع) قطاع و نقرة (من فرنس وساليمورى) .

ويصحب الازدياد فى سمك الجدار ازدياد فى مساحة سطحه . غير أن النمو فى السطح يستمر بعض الوقت ثم يتوقف ، بينما يستمر النمو فى السماك

بعد توقف الازدياد في مساحة السطح . ويحدث النمو في السطح بشد الجدار وتوتره ، مع إفراز البروتوبلازم في نفس الوقت لكميات جديدة من مادته وترسيبها على سطحه ، لتحفظ له سمكه ثابتاً رغم الشد ، وتعوض ما ينقص من سمكه نتيجة ازدياد سطحه ، وتعرف هذه الطريقة بالتراكم (Apposition) وقد تدمج المادة الجديدة إدماجاً بين جزيئات الجدار الأصلي ، وهو ما يعرف بالإدماج (Intussusception) أما النمو في السمك فيحدث غالباً بالتراكم وحده ، أى بإضافة مواد جديدة على سطح الجدار الأصلي . وبهذه الطريقة تتميز في الجدار طبقات متعاقبة متمركزة .

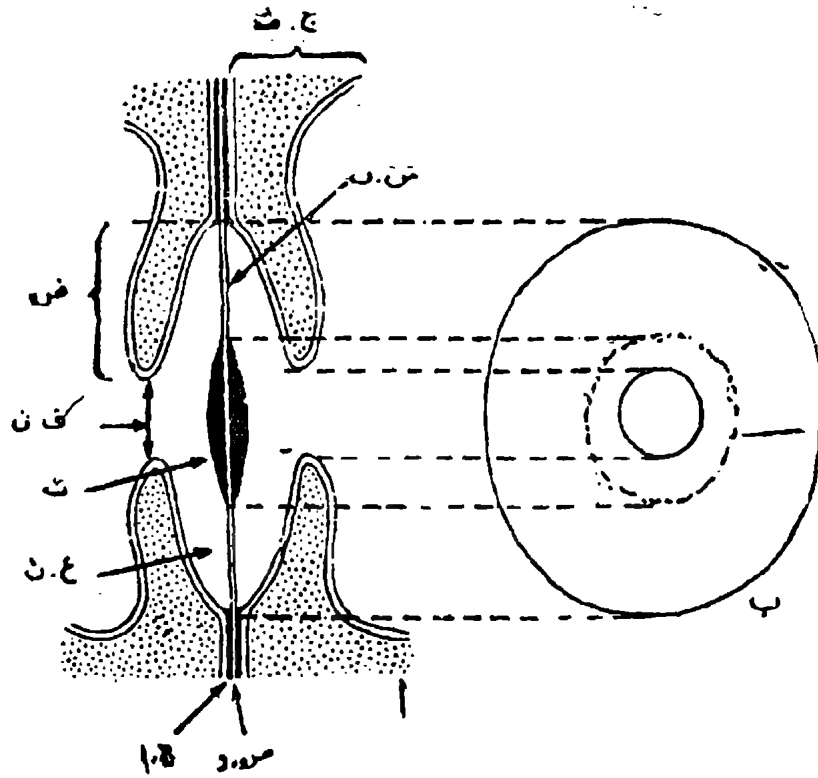
(شكل ٨٣)



النقر القنوية في الخلايا المجرية اثمار الكثرى : (١) مجموعة من الخلايا المجرية (ح . ر) تحيط بها خلايا شعاعية رقيقة الجدر ، (ب) خلية حبيبية مكبرتان وتري بهما نقر قنوية متفرعة (ن) تخترق الجدار السمك وتند إلى قرب السطح الخارجى (عن فرش وساليدورى) .

وهناك نوع آخر من النقر - يكثر في قصيبات الصنوبريات خاصة - ويعرف بالنقر المضفوفة (Bordered pits) ، وهي توجد على الجدر التي تفصل بين قصيبتين متجاورتين (شكل ٨٥) ، وتتكون عادة في أزواج متقابلة . إذ ترسب طبقات من اللجنين ترسباً منتظماً على سطحي الجدار الفاصل بين القصيبتين ، إلا في مواضع النقر حيث يظل الجدار الأصلي رقيقاً ، وتنفصل عنه طبقة اللجنين ، وتبتعد متدرجة في الرقة ،

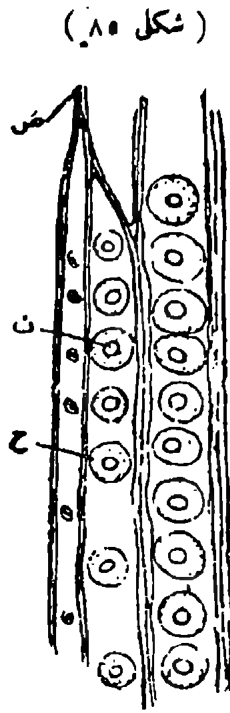
(شكل ٨٤)



النقر المضغوطة : (١) رسم توضيحي لجزء من قطاع في خشب نبات الصنوبر تبين زوجاً متقابلاً من النقر المضغوطة في قصبتين متجاورتين ، (ب) منظر سطحي لإحدى النقر المضغوطة ويرى التخت النقرى (ن) ، والجدار الابتدائي (ج. ١) والجدار الثانوي (ع. ث) وغشاء النقرة (ن. م) والصفحة الوسطى (م. د) والصفحة (ض) وغرفة النقرة (غ. ن) ، وفتحة النقرة (ف. ن) (عن إسو)

ومكونة ما يعرف بالصفحة (Border) . ولا تلتقى حوافي الصفحة في الوسط ، بل تظل متباعدة لتترك فتحة مركزية ضيقة هي فتحة النقرة (ف. ن) ، (شكل ٨٤: أ) . ويبدو الثقب في المنظر السطحي لامعاً في وسط النقرة . ومن حوله الصفحة المستديرة متوسطة التغلظ واللمعان . ومن خارج الصفحة يوجد الجدار الملجن الذي يبدو أدكن من ثقب النقرة وصفحتها . ويتخلف بين الصفحة وغشاء النقرة فراغ يعرف بغرفة النقرة (غ. ن) ، (شكل ٨٤: أ) . ويتغلظ الجزء الأوسط من غشاء النقرة عادة - مكوناً ما يسمى بالتخت النقرى (Torus) - ويكون قطر التخت أكبر قليلاً من قطر فتحة النقرة كما أنه يكون معلقاً من طرفيه بالغشاء الرقيق ، وبذلك يستطيع التحرك إذا زاد الضغط في إحدى القصبتين ليقلل الثقب ويمنع الاتصال .

وفي الأنسجة المفككة لساق
الصنوبر ترى هذه النقر المضفوفة
منظومة في صفوف طولية ، وتمثل
كل نقرة دائرتان ، إحداهما صغيرة
داخلية تمثل فتحة النقرة ، والثانية
حلقة خارجية - تحيط بالثقب -
وتمثل الضفة (شكل ٨٥) .



لصيات نبات الصنوبر وبجدها
نقر مضفوفة . (ح) حائل النقرة المضفوفة ،
(س) الصفيحة الوسطى ، (ن) نائفة
النقرة المضفوفة .

وهناك أيضاً نقر نصف
مضفوفة (Half-bordered pits)
تتكون إذا جاورت قصيبة خلية
بارنشيمية ، فيحدث التغلظ ،
وتتكون النقر على أحد سطحي
الجدار المشترك دون السطح الآخر
إذ تتكون في القصيبة دون الخلية
البارنشيمية ، ولا يحدث التضخيم
إلا في القصيبة وحدها .

(انقسام الخلية)

تنشأ كل خلية نباتية من خلية سابقة عن طريق الانقسام ، وبعملية
الانقسام - وما يتبعها من نمو في الحجم - يزداد عدد الخلايا ويكبر النبات
وتكون الخلية الناشئة في أول تكوينها صورة مماثلة للخلية الأصلية ، تشتق
منها جميع محتوياتها الحية . وفي بعض النباتات الأولية - كطحلب السبيروجيرا -
مثلا - تستطيع جميع الخلايا أن تنقسم لتعطي خلايا جديدة ، أما في
النباتات الراقية - كالنباتات الزهرية - فهناك مناطق نمو خاصة ، هي
وحدها التي تستطيع خلاياها أن تنقسم لتحديث النمو في النبات ، وتوجد
هذه المناطق في قمة الجذر والساق وفي بعض مواضع أخرى من جسم
النبات وتسمى الخلايا القابلة للانقسام خلايا إنشائية أو مرستيمية

(Meristematic cells) ، وتلعب النواة دائماً الدور الرئيسى فى عمليات الانقسام . وهناك ثلاثة أنواع من الانقسام الخلوى : الانقسام المباشر أو اللافتيلى (Amitosis) ، وغير المباشر أو الفتيلى (Mitosis) ، والاختزالى (Meiosis) .

١ - الانقسام المباشر أو اللافتيلى :

يحدث هذا الانقسام أحياناً فى النباتات الأولية ، ويندر حدوثه فى النباتات الراقية ، وفيه تتخصر النواة فى وسطها بالتدريج ، حتى تنقسم إلى قسمين ، قد لا يكونان متساويين أو متماثلين ، ثم يتكون فى وسط البروتوبلاست جدار جديد يفصل النواتين الناشئتين . وبذلك يتم تكوين خليتين بنويتين من الخلية الأصلية .

٢ - الانقسام غير المباشر أو الفتيلى :

هذا النوع من الانقسام أكثر شيوعاً من الانقسام المباشر - خاصة فى النباتات الراقية - ويعد فى الوقت نفسه أكثر تعقيداً . ويتم حدوثه على عدة خطوات أو أطوار ، هى : الطور التمهيدي (Prophase) ، والطور الاستوائى (Metaphase) ، والطور الانفصالى (Anaphase) ، والطور النهائى (Telophase) . ويمكن مشاهدة هذه الأطوار فى قطاع طولى رقيق بالقمة النامية لجذر نبات زهرى أو ساقه - بعد حفظه وصبغه بصبغ مناسب ثم فحصه بالقوة الكبيرة للمجهر ، وذلك لأن استطالة الجذر والساق وتكون الفروع والأعضاء المختلفة - التى يشتمل عليها المجموعان الخضرى والجلىرى - يحدث بانقسام مجموعة من الخلايا الإنشائية موجودة فى هذه القمم النامية ، ويستحسن استعمال البادرات فى هذا الفحص بدل النباتات البالغة . وتعرف النواة غير المنقسمة بالنواة « الساكنة » ، وهى نسية تنطوى على كثير من التجاوز ، لأنها فى هذه الحالة نشيطة فى أداء الكثير من الوظائف الأخرى . والنواة الساكنة بيضية الشكل أو مستديرة ، بداخل غشائها شبكة كروماتينية

بها نوية أو أكثر (شكل ٨٦ : ١) ، وتجويفها الداخلى مملوء بالعصير النووى . وتنغمس الشبكة الكروماتينية فى طبقة محيطية من هذا السائل أكثر كثافة ولزوجة من بقيته .

وفى اى وصف للأطوار المتعاقبة فى الانقسام الفتيلى :

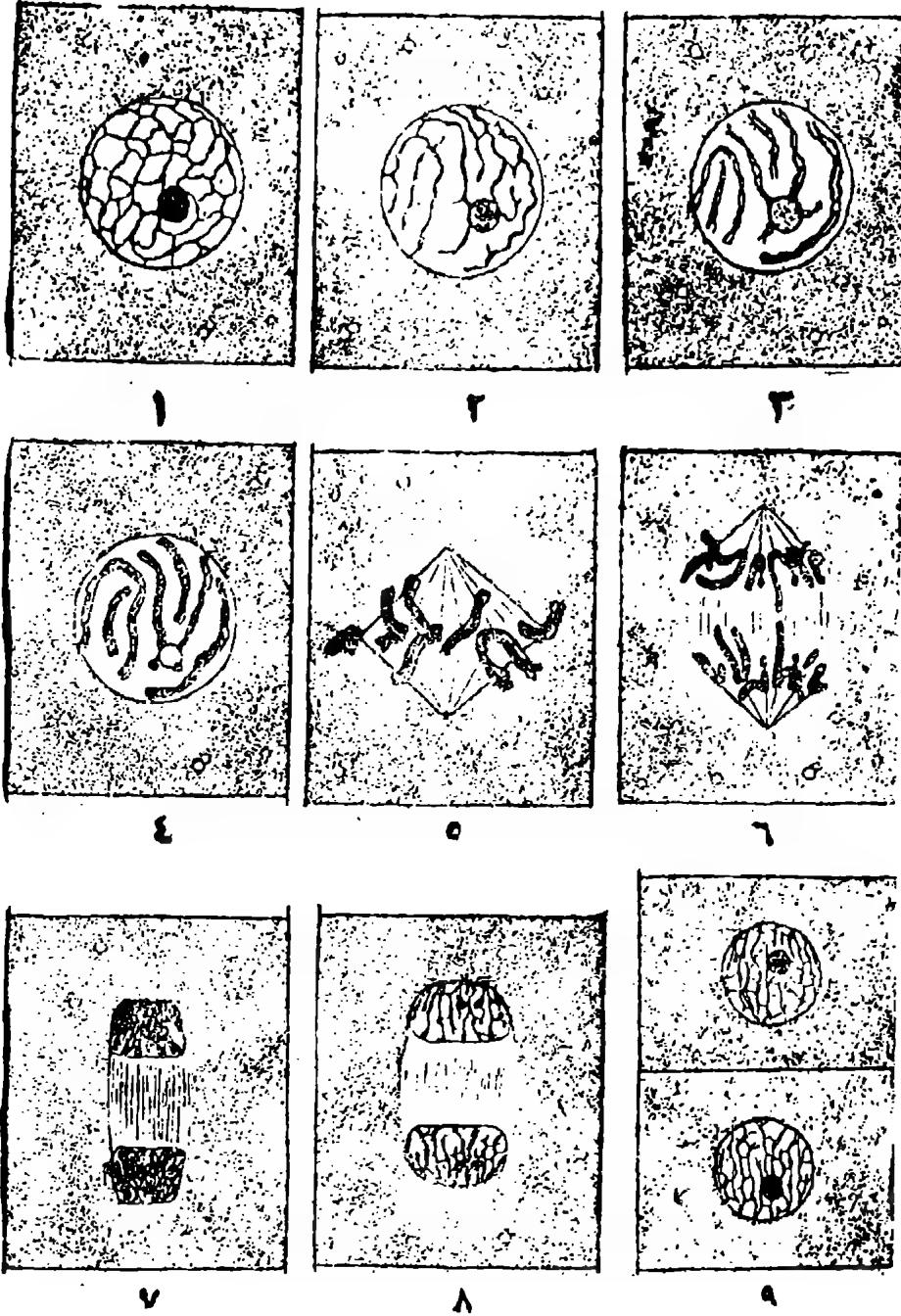
الطور التمهيدي : يبدأ انقسام الخلية بتجزؤ الشبكة الكروماتينية إلى عدد من الخيوط المزدوجة طولياً ، تبدأ رفيعة ثم تزداد فى السمك وتقل فى الطول ، وتعرف بالصبغيات أو الكروموسومات (Chromosomes) . ويتكون كل صبغى من نصفين طويلين يعرف كل منهما بالنصف صبغى أو الكروماتيد (Chromatid) (شكل ٨٦ : ٢ - ٤) ، ويتلاقى كروماتيدا كل صبغى فى نقطة قرب أحد طرفيه ، تعرف بالسنترومير (Centromere) . وفى نهاية هذا الطور التمهيدي تختفى النويات بالتدريج بسبب امتصاص مادتها أثناء تكون الصبغيات ، كما يختفى الغشاء النووى أيضاً . كذلك تقصر الصبغيات وتتغلظ ، وتصبح ناعمة ملساء بعد أن كانت خشنة السطح .

وعدد الصبغيات ثابت فى النوع الواحد ، ويختلف من نوع لآخر . وتتميز الأنواع المختلفة بعدد صبغياتها ، وفى معظم النباتات لا يقل عدد الصبغيات عن ستة ، ويصل إلى ١٢ فى الفول و٢٠ فى الذرة . ولكل صبغى شكل خاص وحجم ثابت يحتفظ بهما فى الأجيال المتعاقبة ، وينتقلان بالوراثة من الخلايا الأبوية إلى الخلايا البنوية .

الطور الاستوائى : تصبح الصبغيات بعد اختفاء الغشاء النووى متصلة

مباشرة بالسيتوبلازم المركزى ، وفى الوقت نفسه تزداد كثافة هذا السيتوبلازم وتظهر فيه عدة خيوط دقيقة مكونة ما يسمى بالمغزل (Spindle) . وتشع الخيوط المغزلية من نقطتين فى طرفى الخلية تعرفان بالقطبين (شكل ٨٦ : ٥) وتنتجه نحو مركز الخلية ، وتكثر الخيوط المغزلية بالتدريج ، وتمتد فى وسط الخلية وتتلاقى الأشعة الصادرة من القطبين فى الوسط . ولم تعرف بعد طبيعة هذه الخيوط المغزلية على وجه التحقيق ، وإن كان يظن أنها خيوط

(شكل ٨٦)



الأموات المختلفة الأقسام الفتيلي : (١) طور السكون ، (٢-٤) الطور التمهيدى ،
(٥) الطور الاستوائى ، (٦) الطور الإخصالى ، (٧-٩) الطور النضائى .

سيتوبلازم كثيف . تغير الصبغيات بعد ذلك مواضعها ، وتتجمع في وسط الخلية وتنتظم في قرص واحد يعرف بالقرص الاستوائى - لوجوده في خط استواء الخلية - ويتصل كل صبغى عند السنتروميير بأحد الخيوط المغزلية .

الطور الانفصالى : فى هذا الطور - وأحياناً فى أواخر الطور الاستوائى تنشق السنترومييرات فى الصبغيات الأصلية ، وينتج عن ذلك انفصال الكروماتيدات ، أى أنصاف الصبغيات . بعد ذلك تتباعد الكروماتيدات ، ويتجه الكروماتيدان الناشئان من كل صبغى فى اتجاهين متضادين ، كل منهما إلى قطب من قطبي المغزل . وبذلك ينحصر كل نواة من النواتين الجديدتين عدد متساو من الصبغيات المتماثلة (شكل ٨٦ : ٦) ، وتكون قسمة المادة الكروماتينية بين الخليتين عادلة . وفى الطور الانفصالى تتخذ أنصاف الصبغيات شكل الحرف (U) أو الحرف (V) ونتجه الانحناءات الوسطية تجاه قطبي المغزل .

الطور النهائى : فى هذا الطور يكتمل تكوين النواتين الجديدتين ، وذلك لأن الصبغيات عندما تبلغ قطبي المغزل تتزاحم مع بعضها البعض . وتطراً عليها عدة تغيرات ، فى عكس اتجاه التغيرات التى حدثت فى الأدوار الأولى لعملية الانقسام ، ومن شأن هذه التغيرات أن تؤدى إلى اختفاء فردية الصبغيات وتحولها إلى شبكة كروماتينية ، بتكوين أجزاء مستعرضة تصل بعضها ببعض ، وفى الوقت نفسه يفرز السيتوبلازم المغلف لكل نواة غشاء نووياً جديداً ، يفصل النواة عن السيتوبلازم ، بعد ذلك تكبر النواتان الجديدتان حتى تصلا إلى حجم النواة الأصلية ، وبذلك يتم تكوين نواتين ساكنتين تشبهان النواة التى تكونتا منها ، لكل نواة غشاؤها وشبكاتها الكروماتينية ، كما تظهر فيها النويات من جديد ، وتحتوى كل نواة جديدة نصفاً من كل صبغى من صبغيات الخلية الأم .

وبالإضافة إلى الخيوط المغزلية الشاذة التى بدأ ظهورها فى الطور الاستوائى واتصلت بها الصبغيات ، تظهر خيوط جديدة فى هذا الطور

(شكل ٨٦ : ٦ - ٨) تصل ما بين النواتين ، وتمتد في وسط الخلية من قطب إلى قطب . وتستمر هذه الخيوط الجديدة فترة من الزمن بعد تكوين النواتين البنويتين . وتتكون عليها في وسطها انتفاخات عند خط استواء الخلية ، قد تكون ناشئة عن محور في البروتوبلازم بتلك المنطقة . وتصبح هذه الانتفاخات أكثر وضوحاً عندما تمتد في وسط الخلية في اتجاه أفقى ، أى في وضع مستعرض ، ثم تتلاقى هذه الانتفاخات في النهاية مكونة حاجزاً كاملاً من السيتوبلازم المتحور ، يعرف بالصفحة الخلوية (Cell plate) . ولا تلبث هذه الصفحة أن تزداد صلابة بترسب مادة البكتين (Pectin) فيها ، فتتحول بذلك إلى ما يسمى بالصفحة الوسطى (Middle lamella) ، ثم تترسب طبقة من السيليلوز على كل جانب من جانبي الصفحة الوسطى ، وتكون الطبقات الثلاث مجتمعة - ما يسمى بالجدار الابتدائى (Primary wall) ، وقد يستمر هذا الجدار في الخلية البالغة دون تغير ، أو تترسب عليه طبقات إضافية من السيليلوز أو اللجنين ، مكونة بذلك جداراً ثانوياً للخلية . وتتحرق جدار الخلية خيوط سيتوبلازمية دقيقة - وهى الروابط البلازمية - التى سبق ذكرها في الباب السابق .

٣ - الانقسام الاختزالى :

يحدث هذا النوع من الانقسام فى الأعضاء التناسلية وحدها ، وينشأ عنه تكوين أمشاج (أى خلايا ناساية) ذات عدد مختزل من الصبغيات ، يبلغ نصف عددها فى خلايا الجسم . وفى عملية الإخصاب - عندما تتحد الخليتان الذكورية والأنثوية لتكوين اللاحقة - تعود الصبغيات إلى سابق عددها ، وسنرجى شرح تفاصيل هذه الطريقة إلى القسم الخاص بالوراثة . يتضح مما تقدم أن نواة الخلية بنوية مشتقة دائماً من نواة الخلية الأم ، وهذه الحقيقة تنطبق بوجه عام على الأحياء النباتية والحيوانية ، ولم يعرف قط أن نواة فى خلية بنوية نشأت من السيتوبلازم فى خلية أبوية ، وبالمثل يحتمل أن البلاستيدات تتكاثر هى الأخرى بانقسام بلاستيدات سابقة ، وأن كمية السيتوبلازم تزداد زيادة كبيرة أثناء الازدياد فى الحجم الذى يعقب الانقسام ، ولكنها زيادة فى كمية مادة كانت موجودة من قبل ، ولم تنشأ

من أصل مستقل وبعبارة أخرى يمكن اعتبار أى جيل أنه امتداد للجيل الذى سبقه ، مما يفسر استمرارية الحياة .

وفى انقسام الخلايا تتوزع مادة النواة - وبخاصة مادة الصبغيات - بالتساوى بين النواتين البنويتين ، مما يدل على أن الكروماتين ذو أهمية كبيرة فى حياة الخلية ، بل وفى حياة الكائن الحى بأجمعه ، وأن الصبغيات تؤدى الدور الأول فى نقل الصفات الوراثية من جيل إلى جيل . وهناك عدد محدود من الصبغيات فى كل نواة ، وإذا حدث أى اختلاف عن العدد المميز للنوع فإنه يكون فى العادة ناشئاً عن عدم انفصال بعض الصبغيات وبقائها متصلة الأطراف . ويختلف أحياناً حجم الصبغيات فى نواة ما ، ويكون هذا الاختلاف صفة مميزة للنوع ، تتوارث وتنتقل من خلية إلى أخرى فى عمليات الانقسام .

* * *

الباب الثامن

الأنسجة

الخلية هي الوحدة التشريحية للنبات . والنبات إما أن يكون وحيد الخلية أو متعدد الخلايا . وليس سوى النباتات الأولية وحدها - كـ بعض أنواع الطحالب والبكتيريا والفطريات - هي التي يتركب كل نبات منها من خلية واحدة ، تؤدي جميع وظائف الحياة على نحو مبسط . وهناك أيضاً قلة من النباتات - متعددة الخلايا - ولكن تتشابه خلاياها شكلاً ووظيفة . ومن أمثلتها النباتات ذوات الأجسام الحيطية التي يتركب كل منها من خيط واحد ، يمثل صفّاً من خلايا متماثلة ، وتؤدي جميع الخلايا وظائف متشابهة ، وتستطيع كل خلية القيام بجميع وظائف الحياة . ومن أمثلتها أيضاً النباتات التي تتكون مستعمرات بسيطة - كـ بعض الطحالب الخضراء - حيث تتشابه الخلايا من جميع الوجوه وتؤدي كل خلية جميع الوظائف .

ومع زيادة التعقيد (Organisation) - الذي يصحب التدرج في الرقي - يحدث توزيع للعمل أو تخصص فسيولوجي بين الخلايا ، مصحوب بتطور في الشكل والتركيب بما يلائم الوظيفة التي يقوم بها كل نوع منها ، ومن هنا نشأت الأنسجة (Tissues) ، ليؤدي كل نسيج وظيفة بذاتها . والأنسجة هي مجموعات من الخلايا المتماثلة ، يوجد كل منها في مواضع معينة من جسم النبات ، وتتشابه خلاياها شكلاً وتركيباً ووظيفة ، ويفصل كل خلية عن جارتها جدار خلوي . ويوجد عدد كبير من هذه الأنسجة في كل نبات لتؤدي الوظائف المتعددة التي يحتاج إليها . فالأصل في تكوين الأنسجة إذن أن يختص كل نسيج بوظيفة معينة ، وأن تتعاون جميع الأنسجة على تهيئة أسباب النمو والحياة للنبات . وتقوم الروابط البلازمية (Plasmodesmata) بوصل المادة الحية في جميع خلايا النسيج الواحد ، وبذلك لا تقف الجدران المحيطة بالخلايا حائلاً دون اتصالها ، الذي يعتبر ضرورياً لأداء الوظائف الحيوية . والجدار في الوقت نفسه هيكل تقوى به الخلية وتصلان .

ويمكن تمييز مجموعتين من أنواع الأنسجة في النباتات الراقية :

١ - الأنسجة الإنشائية (Meristematic tissues) :

٢ - الأنسجة المستديمة (Permanent tissues) :

وسنتحدث فيما يلي بشئ من التفصيل عن أنواع الأنسجة في كل من هاتين المجموعتين .

(الأنسجة الإنشائية)

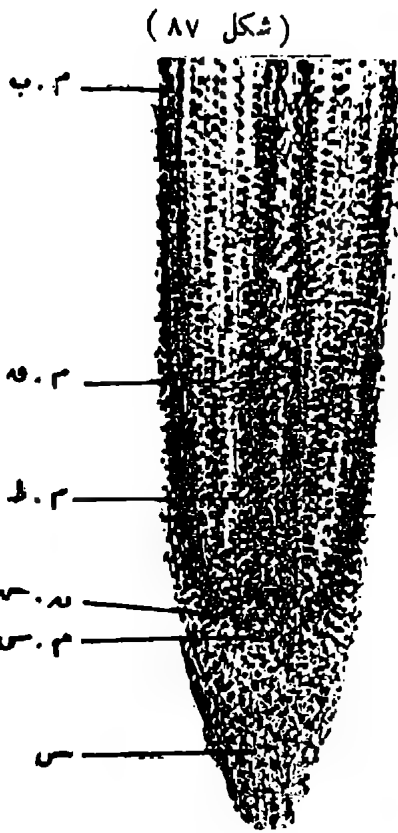
تتكون هذه الأنسجة من خلايا مكعبة الشكل تقريباً ومتساوية الأقطار ، أو منضغطة ومستطيلة ، جدارها رقيقة ، ممتلئة تماماً بالسيتوبلازم ، نواتها كبيرة ، خالية من الفجوات العصارية ، ليس بينها فراغات هوائية تفصلها ، قادرة على الانقسام وإنتاج خلايا جديدة . وتوجد الأنسجة الإنشائية في الجنين ، كما توجد أيضاً بالنباتات البالغة في القمم النامية للجذور والسيقان . وكذلك في مواضع خاصة داخل الأعضاء المسنة ، وتنقسم من حيث نشأتها إلى أنسجة إنشائية ابتدائية وأخرى ثانوية .

١ - الأنسجة الإنشائية الابتدائية :

تشمل هذه الأنسجة الجنين كله ، وهو ينشأ من انقسام اللاقحة ، أي الخلية التناسلية الملقحة ، كما توجد أيضاً في النبات البالغ بالقمم النامية للسيقان والجذور ، وفي بدايات الأوراق (Leaf primordia) وغيرها من التتوعات المماثلة كبدايات الأزهار ، وكذلك في الأجزاء البالغة المشتقة مباشرة من أنسجة القمم ، والمستمرة النشاط منذ نشأتها الأولى من تلك القمم ، ومن أمثلتها الكامبيوم الخزمي في السيقان الحديثة لموات الفلقتين ، لأنه ناشئ من منشئ الأسطوانة الوعائية (Plerome) الموجودة في القمة النامية . وكذلك الأنسجة الإنشائية البينية (Intercalary meristems) الموجودة عند قواعد السلاميات في سيقان بعض ذوات الفلقة الواحدة ، وعند قواعد الأوراق أحياناً ، إذ تحتفظ خلايا هذه الأنسجة بحيويتها ونشاطها لفترة ما ، وتنقسم لتزيد من طول السلاحي أو طول الورقة .

ويسمى النسيج الإنشائي الموجود في القمم النامية ، نسيجاً إنشائياً قياً .
(Apical meristem) ، وهو يتميز إلى بضعة أنواع من الأنسجة الإنشائية ،
مستمدة جميعها من أصل واحد يعرف بالنسيج الإنشائي الأولي (Promeristem)
وهو أقرب الأجزاء إلى القمة .

ومن الممكن دراسة التركيب التشريحي للقمة النامية بعمل قطاع طولي
رقيق في طرف الجذر (شكل ٨٧) أو قمة الساق (شكل ٨٨) ،



وفحصه بالمجهر بعد صبغه بصبغ مناسب . في هذا القطاع يظهر النسيج
الإنشائي الأولي قريباً من القمة .
ويلاحظ أن خلايا هذا النسيج تكون
جميعاً متشابهة ، وتصطبغ بلون
أدكن من بقية أجزاء القمة النامية .
وبازدياد البعد عن طرف الساق أو
الجذر يأخذ النسيج الإنشائي الأولي
في التميز إلى الأنواع الآتية من
الأنسجة الإنشائية الابتدائية :

أ- منشاء البشرة (Dermatogen) :

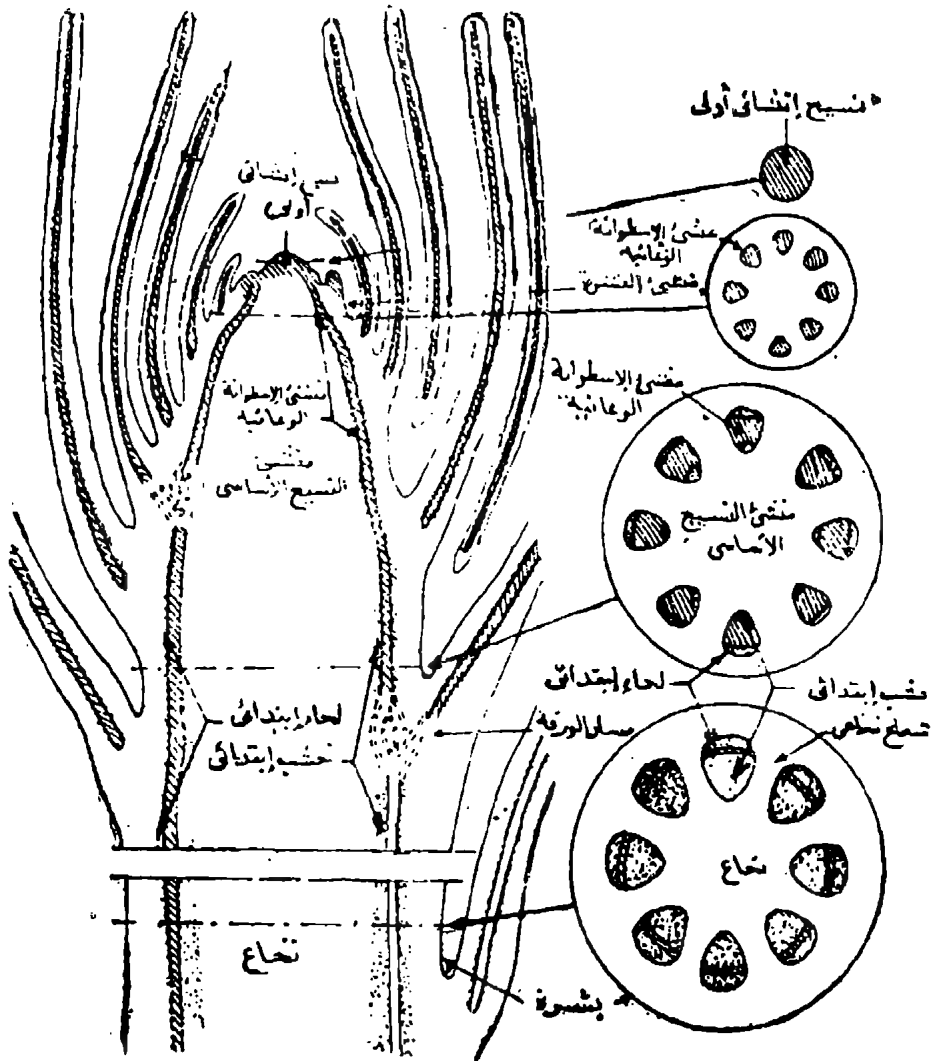
وهو طبقة واحدة من الخلايا تغلف
القمة النامية للساق والجذر ، وتكون
البشرة (Epidermis) في الأجزاء البالغة
من الساق والطبقة الوبرية (Piliferous
layer) في الأجزاء البالغة من الجذر .

ب - منشاء القشرة (Periblem) :

(شكل ٨٠) قطاع طول في قمة جذر
الفول : (س) قطنسوة ، (م.ب) منشاء البشرة
(م.ن) منشاء القشرة ، (م.س) منشاء
القطنسوة ، (م.ط) منشاء الاسطوانة
الوعائية ، (ن.ش) النسيج الإنشائي
الأول (عن ماكين وكوك) .

وهو عديد الطبقات ، ويلى منشاء البشرة ، ويكون القشرة (Cortex) في
الأجزاء البالغة من الجذر والساق .

(شكل ٨٨)



رسوم تخطيطية لقطاعات طولية (إلى اليسار) وقطاعات مستعرضة (إلى اليمين)
 في ساق نبات من مختلف الأنسجة الابتدائية ، الابتدائية منها والمستديرة . وترى من الأنسجة
 الابتدائية الابتدائية منشآت البعرة والنسيج الوسطي والإسطوانة الرمائية ، ومن الأنسجة
 المستديرة الابتدائية الخشب الابتدائي واللحاء الابتدائي والأخضر النخاعية الأصلية .

ج- منشىء الأسطوانة الوعائية (Plerome) : وهو أيضاً عديد الطبقات . ويمثل الجزء الأوسط من النسيج الإنشائي القمى ، ويكون الحزم الوعائية والنخاع فى الأجزاء البالغة .

د- منشىء القلنسوة (Calyptragen) : وهو نسيج إنشائي خاص بالجذور دون السيقان ، ويعطى القلنسوة (Calyptra or root cap) التى تتكون إلى الخارج عند الطرف الأمامى للقمة النامية . ووظيفة القلنسوة حماية القمة النامية من التمزق نتيجة احتكاكها بالتربة أثناء اختراقها لها فى نموها . وتمزق الطبقات الخارجية من القلنسوة باستمرار ، وتتكون عوضاً عنها طبقات جديدة فى الناحية الداخلية ، نتيجة لنشاط منشىء القلنسوة .

وهناك تقسيم آخر للأنسجة الإنشائية فى القمة النامية ، فيه يعتبر منشىء القشرة والجزء المركزى من منشىء الأسطوانة الوعائية نسيجاً إنشائياً واحداً ، يطلق عليه اسم منشىء النسيج الأساسى (Ground meristem) . وهو يكون من الأنسجة البالغة القشرة والنخاع والأشعة النخاعية الأصلية والطبقة المحيطة.

٢- الأنسجة الإنشائية الثانوية :

هذه الأنسجة مشتقة إما من أنسجة إنشائية ابتدائية ، فقدت قدرتها على الانقسام لفترة من الزمن ، ثم عاد إليها النشاط من جديد ، أو من أنسجة مستديمة . فالكامبيوم الحزمى فى السيقان الحديثة مثلاً يعتبر نسيجاً إنشائياً ابتدائياً ، لأنه تكون من منشىء الأسطوانة الوعائية فى القمة النامية . أما فى السيقان المسنة ذات التغلظ الثانوى فإنه يعتبر نسيجاً إنشائياً ثانوياً ، لأن نشاطه لم يستمر بل توقف فترة بعد تكونه ، ولم يستأنف إلا عند بدء التغلظ الثانوى ، حيث أخذ ينقسم بجدر محيطية ، ليعطى أنسجة مستديمة ، هى اللحاء الثانوى إلى الخارج والخشب الثانوى إلى الداخل .

أما الكامبيوم بين الحزمى فإنه ينشأ من خلايا مستديمة تقع فى الأشعة النخاعية الأصلية على استقامة الكامبيوم الحزمى ، وتنقسم هى الأخرى عندما يبدأ التغلظ الثانوى بجدر محيطية لتعطى لحاء وخشباً ثانوين ، ولذلك يعتبر

هذا الكامبيوم بين الحزى نسيجاً إنشائياً ثانوياً . والكامبيوم الفلينى هو الآخر نسيج إنشائى ثانوى ، لأنه ينشأ فى طبقة من الخلايا المستديمة ، تنشط فى الانقسام بجدر محيطية لتعطى عدة طبقات من نسيج مستديم هو الفلين .

(الأنسجة المستديمة)

تختلف خلايا الأنسجة المستديمة عن خلايا الأنسجة الإنشائية فى كون الأولى فقدت قدرتها على الانقسام ، وهى أكبر حجماً من الثانية ، وتحتوى قدراً أقل من البروتوبلازم ، وفجوتها العصارية كبيرة وهى أحياناً خلايا ميتة تماماً . والنسيج المستديم مجموعة من الخلايا - متشابهة من حيث الشكل والوظيفة - وتحتوى بعض الأنسجة على فراغات بين خلاياها ، وفى بعضها تتغلظ جدر الخلايا أو تطراً عليها تغيرات كيميائية .

وفى فترة تحول الأنسجة الإنشائية إلى مستديمة تكبر الخلايا وتنفصل عن بعضها البعض فى مواضع خاصة من جدرها - غالباً عند الأركان - وتتعاظ الجدر أو تتغير كيميائياً ، كما تتحول محتوياتها الحية ، أو نختنى تماماً .

(المجاميع النسيجية)

ترتب الأنسجة المستديمة داخل الأعضاء النباتية المختلفة فى ثلاثة مجاميع رئيسية ، تعرف بالمجاميع النسيجية (Tissue Systems) ، وهى :

١ - مجموع الأنسجة الأساسية (Ground or fundamental tissue system)

٢ - مجموع الأنسجة الجلدية أو الضامة (Dermal or boundary tissue system)

٣ - مجموع الأنسجة الوعائية أو التوصيلية (Vascular or conducting tissue system)

مجموع الأنسجة الأساسية

في سيقان وجذور ذوات الفلقتين وجذور ذوات الفلقة الواحدة تتميز الأنسجة الأساسية إلى قشرة ونخاع وأشعة نخاعية ، أما في سيقان ذوات الفلقة الواحدة فتكون الحزم الوعائية مبعثرة في غير انتظام داخل النسيج الأساسي ، ولذلك لا تتميز في قطاعها المستعرض مناطق كتلك الموجودة في ذوات الفلقتين .

وأهم أنواع الأنسجة الأساسية في هذا المجموع هي ما يأتي :

- أ - الأنسجة الباونشيمية (Parenchyma tissues) .
- ب - الأنسجة الكولنشيمية (Collenchyma tissues) .
- ج - الأنسجة السكلرنشيمية (Sclerenchyma tissues) .
- د - الأنسجة الإفرازية (Secretory tissues) .

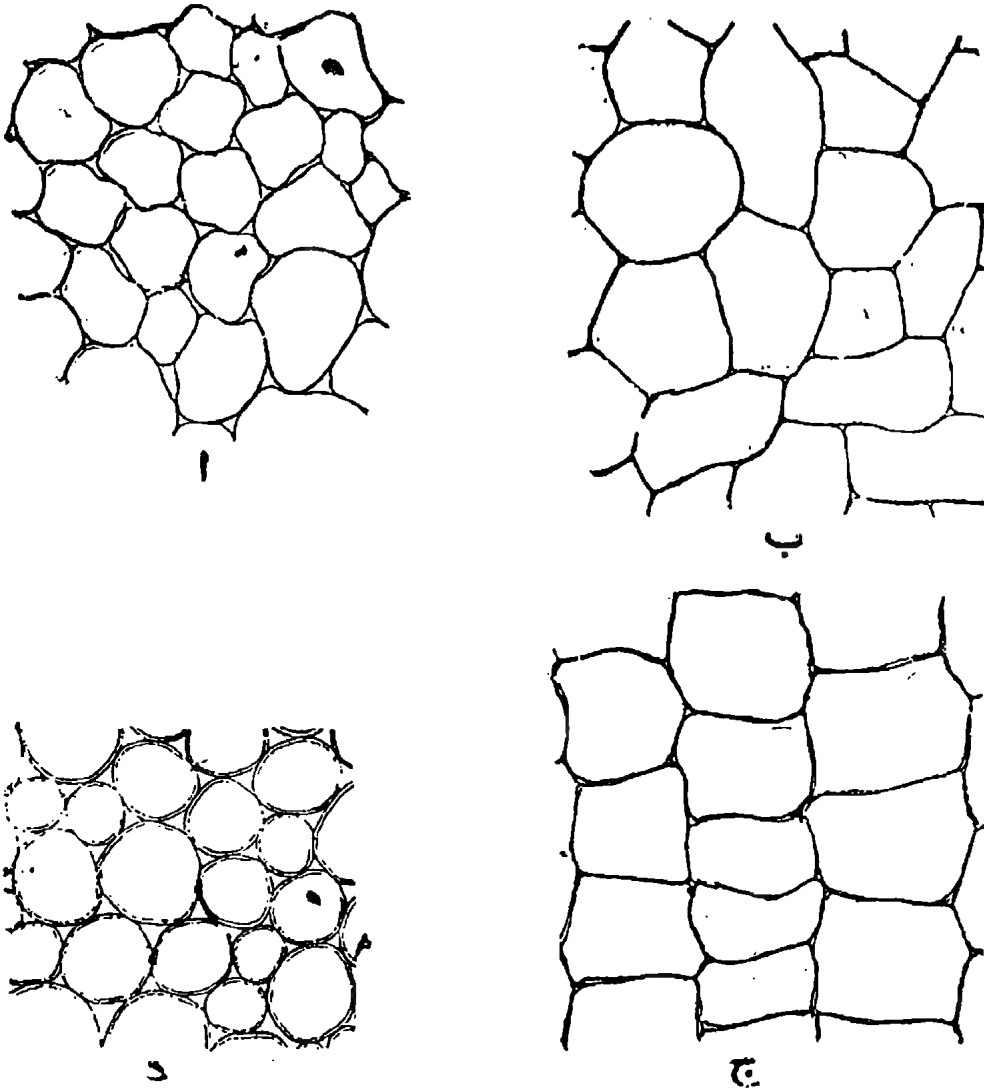
ويعرف النوعان الثاني والثالث باسم الأنسجة « الميكانيكية » أو « الدعامية » لأن جدر الخلايا فيهما مغلظة لتأدية وظائف التقوية والدعم ، لمقاومة العوامل التي تعرض النبات للكسر أو الانثناء .

وسنتحدث فيما يلي عن كل نوع من هذه الأنسجة بشئ من التفصيل .

(أ) الأنسجة الباونشيمية :

تتميز خلايا الأنسجة الباونشيمية (شكل ٨٩) بتساوي أقطارها تقريباً ويتكون جدارها من مادة السليلوز - الذي يتلجن قليلاً في بعض الأحيان كما في بارنشيمية الخشب الثانوي - وبه في المادة نقر بسيطة ، بيضية أو مستديرة . وتحتوي الخلية على جانب من البروتوبلازم ، ولذلك فهي خلية حية ، وفي وسطها فجوة عصارية أو فجوات مختلفة الأحجام وممتلئة بالعصير . وتحتوي الخلية الباونشيمية أحياناً على مواد غذائية ، كما تحتوي السيتوبلازم على بلاستيدات خضراء إما ملونة وإما عديمة اللون . ويوجد الفشا غالباً داخل البلاستيدات . ويتخلل النسيج الباونشيمي عادة جهاز متصل للهوية ، مكون من فراغات بينية .

(شكل ٨٩)



أنواع مختلفة من الخلايا البارنشيمية : (١ - ج) خلايا بارنشيمية رقيقة الجدر ، (د)
خلايا بارنشيمية ممتلئة الجدر (عن ابن جرير ومالك دانيالز) .

وتؤدي الأنسجة البارنشيمية عدداً من الوظائف المختلفة ، أهمها في
النبات البالغ وظائف البناء الضوئي والتهوية ، واختزان الأغذية وتوصيلها .
وتقوم بوظيفة البناء الضوئي أنسجة بارنشيمية تمثيلية (Assimilating
parenchyma) توجد في الأوراق والسيقان العشبية الخضر ، وكذلك
في الأطراف الغضة الحديثة للسيقان الخشبية . ويعرف النسيج التمثيلي في
الأوراق باسم النسيج الوسطي (Mesophyll) وفي السيقان باسم النسيج

الكولورنشيمى (Chlorenchyma tissue) ، وتقع الأنسجة البارنشيمية التمثيلية فى الأجزاء السطحية المعرضة للضوء ، وتمتلىء خلاياها بالبلاستيدات الخضر .

ويعزى احتفاظ الخلايا البارنشيمية بصلابتها وتماسكها — رغم رقة جدرها إلى امتلائها بالعصير الخلوى الذى يساعد على امتصاصها للماء أزموزياً وانتفاخها .

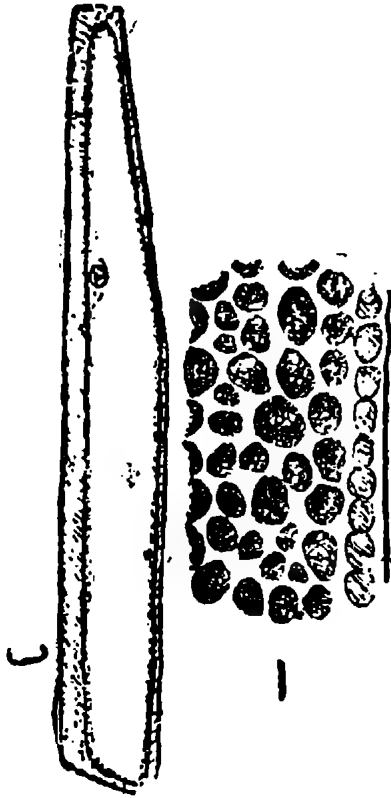
الأنسجة الدعامية :

لكى يستطيع النبات أن يؤدى وظائفه الحيوية على وجه مرض يجب أن يكون على درجة كافية من الصلابة ، تحفظ له شكله وقوامه ، وتمنعه من التهدل . وهذه الصلابة مكفولة فى الخلايا المنفردة بضغط الامتلاء ، وفى الأجزاء النامية بتوتر الأنسجة . بيد أن ضغط الامتلاء وتوتر الأنسجة يفقدان سريعاً إذا فقد النبات جانباً من مائه ، فيؤدى ذلك إلى ذبول النبات ، ولذلك فإن هذين العاملين لا يفيان وحدهما بحاجة النبات الكبير — ذى الخلايا الكثيرة — من الصلابة والتقوية ، ومن هنا كانت ضرورة وجود أنسجة خاصة بالتدعيم فى النباتات الراقية ، وهذه الأنسجة هى الكولنشيمية والسكلرنشيمية .

(ب) الأنسجة الكولنشيمية : هى أنسجة حية ، مكونة من خلايا مستطيلة بعض الشيء ، غير مدببة الأطراف جدرها مغلفة تغليظاً غير منتظم (شكل ٩٠) ولكنها غير ملجننة . والوظيفة الأساسية لهذه الأنسجة هى التقوية والتدعيم ، ويساعد على ذلك تغلظ خلاياها وطريقة توزيعها فى النبات .

والأنسجة الكولنشيمية تشبه البارنشيمية فى احتواء خلاياها على بروتوبلاست ، غير أن تلك الخلايا تكون أكثر طولاً عادة وأقل اتساعاً من الخلايا البارنشيمية . وعندما يتعاقب النسيجان فى أى عضو نباتى ، فإن الانتقال من أحدهما إلى الآخر يكون تدريجياً ، إذ تتسع الخلايا بالتدريج . وترقى

(شكل ٩٠)



جدرها وتنظم في السمك كلما
انتقلنا من نسيج كولنشيبي إلى آخر
بارنشيبي .

وتمتد مشابهة الخلايا الكولنشيمية
للبارنشيمية أيضاً إلى احتواء كلا
النسيجين على بلاستيدات خضر ،
وإلى قدرتهما على الاشتراك في النشاط
التمثيلي وعلى النمو . ولهذا المشابهات
مجتمعة ، يعتبر النسيج الكولنشيبي
أحياناً نوعاً من الأنسجة البارنشيمية
تغلظت جدره الثانوية بشكل
خاص ، أهله للاضطلاع بوظيفة
التقوية والتدعيم .

الخلايا الكولنشيبية : (ا) جز .
من نسيج كولنشيبي في ساق أحد النباتات
الزهري ، (ب) خلية كولنشيبية منفردة ،
ويرى بها الجدار الميلوزي غيرمنتظم
الناظر ، يترك من الداخل طبقة رقيقة من
السيتوبلازم المحيط بنفس فيه الندوة .
(ب) بشرة ، (د) أدمة .

وتوجد الأنسجة الكولنشيمية في
الأعضاء النامية بالنباتات الخشبية ،
وكذلك في الأعضاء البالغة بالنباتات
العشبية التي لم يطراً عليها تغلظ ثانوي

يذكر . وهي تعتبر الأنسجة الدعامية الأولى في كثير من السيقان والأوراق
وبخاصة في الأوراق البالغة لنباتات ذوات الفلقتين ، ويندر وجود الخلايا
الكولنشيمية بجذور ذوات الفلقة الواحدة وأوراقها .

وتقع الأنسجة الكولنشيبية عادة في الأجزاء الخارجية من السيقان ،
أي الأجزاء القريبة من السطح ، فهي توجد في القشرة ، إما تحت البشرة
مباشرة أو مفصولة عنها بطبقة أو طبقتين من خلايا بارنشيمية ، وتكون
بالقشرة أسطوانة كاملة أو متقطعة ، وفي الحالة الأخيرة تفصل أجزائها

قطع من نسيج بارنشيى . أما فى السيقان المضلعة - كسيقان اللوف والقرع - وفى أعناق الأوراق ، فإنها توجد بالأركان ، وفى أنصال الأوراق تركز عند العروق ، إما من ناحية أحد السطحين فقط أو من الناحيتين معاً .

وأهم ما تتميز به الخلية الكولنشيىية هو شكل التغلف فى جدرها ، فالجدر كما ذكرنا مغلفة تغلفاً غير منتظم ، وبطريقة تختلف فى النباتات المختلفة . فالأركان - وهى ملتقى الخلايا المتجاورة - تكون فى العادة أكثر تغلفاً من بقية أجزاء الجدار ، وفى هذه الحالة تبدو فجوات الخلايا مستديرة تقريباً فى القطاع المستعرض (شكل ٩٠) . وفى أخرى تظل الجدر رقيقة فيما عدا الأركان ، ولذلك تبدو الفجوات مضلعة ، وأحياناً توجد فراغات بينية واضحة فى الأنسجة الكولنشيىية ، ويحدث التغلف فى أجزاء الجدار التى تحدد تلك الفراغات .

وهواد التغلف فى جدر الخلايا الكولنشيىية هى السيليلوز ، وهى نفس المواد التى تتركب منها جدر الخلايا البارنشيىية الحية ، وتحتوى على نسبة عالية من الماء . ويبدأ التغلف المميز للخلايا الكولنشيىية مبكراً أثناء نموها وتمدد جدرها ، وقد لوحظ أن درجة التغلف تزداد إذا تعرضت النباتات لرياح شديدة إبان فصل النمو .

ويساعد النسيج الكولنشيىى على تأدية وظيفته الأساسية وهى التقوية - إلى جانب تغلف جدره - صفات أخرى أهمها تراحم الخلايا واندماجها مع بعضها البعض لصغرها ، وانعدام أو ضيق الفراغات الهوائية بينها ، وصغر النسبة بين مساحة فجواتها ومساحة النسيج كله . ومع هذا فإن مرونة جدرها تسمح باستطالتها وتغير شكلها عندما تتأيل الأغصان وتهتز تحت وطأة الرياح دون أن ينقص ذلك من قوتها شيئاً . كما أن قدرتها على الاستطالة تلائم مقتضيات النمو فى السيقان الحديثة ، ولذلك فهى توجد بوفرة فى الأجزاء التى لا تزال فى دور الاستطالة .

وتتجمع الخلايا الكولنشيمية بين الصلابة والمرونة ، أى قابلية التشكل والانشاء ، ولهذه المرونة أهميتها الخاصة فى الأعضاء النامية التى تحتاج فيها الخلايا إلى تغيير شكلها وطولها وسمكها باستمرار ، بيد أنها تقل تدريجياً كلما تقدم النبات فى السن ، إذ تصبح الأنسجة الكولنشيمية فى الأعضاء المسنة أشد صلابة وأكثر قابلية للكسر مما كانت عليه فى الأنسجة الحديثة النامية .

(ج) الأنسجة السكلرنشيمية : تتكون الأنسجة السكلرنشيمية من خلايا مغلظة الجدر ، ملجننة غالباً ، وظيفتها الأساسية التقوية والتدعيم . فهى تعين الأعضاء النباتية على احتمال مختلف المؤثرات الميكانيكية - كالشد والضغط - دون إضرار بما تحتويه هذه الأعضاء من خلايا ضعيفة ذات جدر رقيقة ، على أن الخلايا السكلرنشيمية تختلف عن الكولنشيمية فى عدم وجود الجدر الأولية المرنة المحتوية على نسبة عالية من الماء .

وتختلف الخلايا السكلرنشيمية فيما بينها اختلافاً كبيراً من حيث الشكل والأصل والتركيب وطريقة التكوين . وهناك نوعان رئيسيان من هذه الخلايا الألياف (Fibres) والخلايا الحجرية (Stone cells) . والفروق كثيرة بين هذين النوعين ، فالألياف طويلة مدببة الأطراف بينما الخلايا الحجرية قصيرة ، كما أن النقر أكثر وضوحاً فى الثانية منها فى الأولى . على أن أهم الفروق بين النوعين فرق متعلق بمنشئهما ، فالخلايا الحجرية ذات أصل بارنشيمى ، نشأت من حدوث تلجنن ثانوى فى جدر بعض الخلايا البارنشيمية ، أما الألياف فذات أصل ابتدائى ، لأنها تنشأ من خلايا إنشائية تلجنن جدرها فى دور مبكر .

والخلايا السكلرنشيمية هى فى الغالب خلايا ميتة عند اكتمال تكوينها ، إذ أنها فى ذلك الطور لا تحتوى شيئاً من المادة البروتوبلازمية الحية . وهذه الصفة - بالإضافة إلى الجدر الثانوية الملجننة - تميز هذا النوع من الأنسجة عن الأنسجة البارنشيمية والكولنشيمية . ومع ذلك فهناك أنواع من الخلايا

غير السكرنشيمية لها جدر ثانوية ملجننة ، ولكنها تحتفظ بمحتوياتها الحية ، ومن أمثلتها الخلايا البارنشيمية الملجننة كبارنشيمة الخشب .

الألياف : توجد الألياف بالسيقان متجمعة في حزم أو أسطوانات داخل القشرة ، كما توجد أيضاً متناثرة أو متجمعة داخل أنسجة الخشب ، وداخل أنسجة اللحاء أحياناً . وفي سيقان ذوات الفلقة الواحدة يكون الألياف أغماًداً حول الحزم ، وملتحم أغماء الحزم الخارجية أحياناً التحاماً غير منتظم ، مكونة جهازاً دعامياً متيناً تحت البشرة . أما في أوراق تلك النباتات فتوجد أربطة من الألياف فوق الحزم وتحتها ، تصلها بالسطحين العلوى والسفلى .

(شكل ٩١)



وفي سيقان ذوات الفلقتين توجد الألياف بوفرة خارج الحزم الوعائية وتكون أسطوانة كاملة في قشرة بعض النباتات كالقرع والجارونيا . وفي عدد من النباتات التي لا تتغلظ تغلظاً ثانوياً توجد بعض الألياف من الناحيتين الداخلية والخارجية للحزم . أما في النباتات التي تحتوى على حزم ذات جانبيين فتوجد بعض الألياف أحياناً في اللحاء الداخلى ، إلا أن أهم مواضع الألياف في سيقان ذوات الفلقتين هي الخشب الابتدائى والخشب الثانوى وتوجد الألياف في الجذور بالقشرة والأسطوانة الوعائية.

وتوجد بجدر الألياف عادة نقر بسيطة مائلة ، عدسية الشكل ضيقة (شكل ٩١) . ويختلف طول الألياف كثيراً في النباتات المختلفة ، إذ يبلغ في المتوسط ١ - ٢ ملليمتر ، ولكنه يصل إلى ٢٠ - ٤٠ ملليمتر في الكتان ، وإلى أكثر من ذلك في بعض نباتات الألياف الأخرى ذات الأهمية الاقتصادية . ومما هو جدير بالذكر أن مادة التغليظ في جدر ألياف الكتان

(شكل ٩٢)

رى إلى اليمين ليفة
سكرانشيمية بجدارها
نقر بسيطة ، وإلى
اليسار جزء من قطاع
مدينى ألياف

هى الساييلوز ، ويؤدى تدبب أطراف الألياف إلى إحكام اتصالها مع بعضها البعض ، مما لا يتوفر مثله فى الأنسجة الأخرى .

الخلايا الحجرية : وهى موزعة على نطاق واسع داخل جسم النبات ، فهى توجد فى قشرة ونخاع بعض النباتات ذوات الفلقنتين ومعراة البذور ، إما منفردة أو متجمعة . كما أنها توجد أيضاً فى الخشب واللحاء وفى أوراق بعض النباتات ، وبخاصة نباتات المناطق الحارة ، وفى ثمار بعض النباتات وبذورها ، وفى بعض الثمار اللحمية — كثمار الجوافة والكُمثرى — تنتشر هذه الخلايا فى الأنسجة الطرية ، فى مجاميع صغيرة ، تحيط بها خلايا بارنشيمية شعاعية الشكل (شكل ٨٣) . وفى البذور ذات القصرة الصلبة المتخشبة ترجع الصلابة غالباً إلى وفرة الخلايا الحجرية .

ويختلف سمك الجدر الثانوى فى الخلايا الحجرية المختلفة ، وهى جدر ملجننة عادة ، فإذا كانت رقيقة نسبياً فإن الخلايا الحجرية يصعب تمييزها من الخلايا البارنشيمية ، أما إذا كانت سميكة فإنها تتميز بسهولة . وفى كثير من الخلايا الحجرية ، يكاد يمتلىء تجويف الخلية بمواد التغليف الجدارى امتلاء تاماً ، وتظهر فى الجدر الثانوى نقر تشبه القنوات ، وهى فى الغالب نقر بسيطة ، وفى ثمار الكُمثرى والجوافة تكون النقر قنوات عميقة ، ضيقة ومتفرعة ، وفى بعض أنواع الخلايا الحجرية تظهر مادة التغليف الثانوى فى طبقات متعاقبة . وأحياناً يكون التغليف غير منتظم ، فتصبح بعض أجزاء الجدر أكثر تغليظاً من بعضها الآخر .

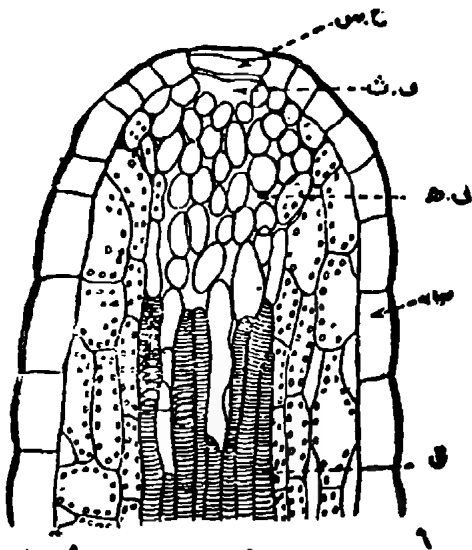
وبالإضافة إلى الأنسجة الكولنشيمية والسكلر نشيمية تقوم أنسجة التوصيل أيضاً — وبخاصة الأنسجة الخشبية — بدور هام فى تقوية الأعضاء النباتية وتدعيمها .

(د) الأنسجة الإفرازية :

تتكون الأنسجة الإفرازية من غدد أو قنوات . والغدد إما سطحية أو داخلية ، وحيدة الخلية أو متعددة الخلايا . وتحمل النباتات آكلة الحشرات على

سطوح أوراقها زوائد غدنية (Tentacles) تستعمل في اقتناص الحشرات وهضمها . ومن الغدد السطحية أيضاً ما يتخذ شكل أجزاء متحورة من البشرة وليس له شكل الشعرة أو الزائدة المستطيلة . ومن أمثلة هذا النوع الأقراص الرحيقية (Nectaries) التي توجد في معظم الأزهار ، كما توجد أحياناً في الأوراق والسيقان . وفي هذا النوع من الغدد لا يغطي سطح البشرة بأدمة ، وإنما تتكون البشرة من خلايا إفرازية ضيقة . غنية بالمواد البروتوبلازمية وتعرف بالطبقة الطلائية (Epithem) .

ومن أنواع الغدد أيضاً الثغور المائية (Hydathodes) ، التي اختصت بإفراز الماء في صورته السائلة (شكل ٩٢) ، وهي ثغور متحورة ، مفتوحة الخلايا البشرية الطلائية . وتوجد



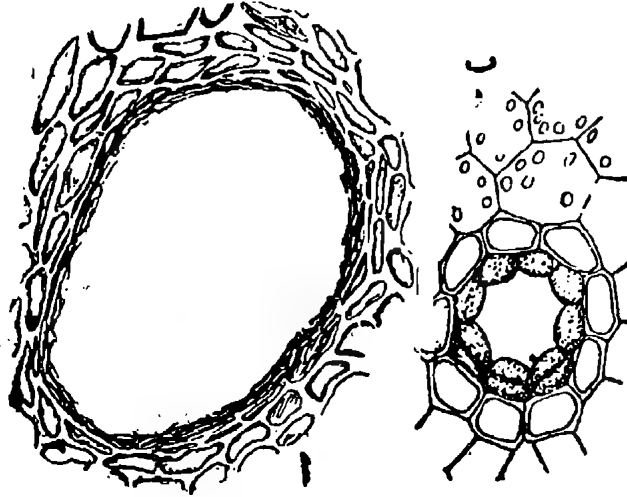
نظام مادي في حافة إحدى أوراق
زهرة الربيع بين تركيب الثغور المائية:
(ج س) خلية حارسة ، (ب ت)
فجوة الثغور ، (د هـ) فواغ حيوانية
(ب) بشرة ، (ق) قصبية ، (ع) مولان

بامتدادها ، تمددها بالماء من خلفها حزمة وعائية ، منتهية بمجموعة الخلايا البشرية الطلائية . وتوجد هذه الثغور المائية عادة عند أركان حافة النصل في أوراق بعض النباتات ، كنبات أبي خنجر (Tropaeolum) ونبات زهرة الربيع (Primula sinensis) وتفرز في الجو الرطب قطرات من الماء ترى عالقة بأركان النصل حيث تنهى العروق .

أما الغدد الداخلية ، فتتخذ شكل فجوات داخل الأنسجة . وتنشأ إما

بانقراض بعض الخلايا تاركة فراغاً تتجمع فيه المواد المفرزة (شكل ٩٣ : أ) ، وتوصف الغدد في هذه الحالة بأنها « انقراضية » (Lysigenous) ، وتحيط بتجويفها عادة بقايا متمزقة من الخلايا المنحلة . أو تتفرق الخلايا بعد ذوبان

صفائحها الوسطى . وفي هذه الحالة يكون تجويفها أكثر انتظاماً في الشكل منه في الغدد الانقراضية ، ويعرف هذا النوع بالغدد الانفصالية (Schizo-genous glands) . وتنقسم الخلايا المحيطة بها أنقساماً محيطياً لتنتج طبقة من خلايا طلائية صغيرة ، تحدد تجويف الغدة ، وهي خلايا إفرازية نشيطة (شكل ٩٣ : ب) . (شكل ٩٣)



والغدد الانقراضية كرية الشكل عادة ، ومن أمثلتها معظم الغدد التي تفرز المواد العطرية في الأزهار والأوراق ، وفي أغلفة بعض الثمار كثمار الموالح ، ومنها البرتقال واليوسفي ، أما الغدد الانفصالية فهي أحياناً مستديرة

الغدد الداخلية : (١) - الانقراضية ، (ب) - الانفصالية

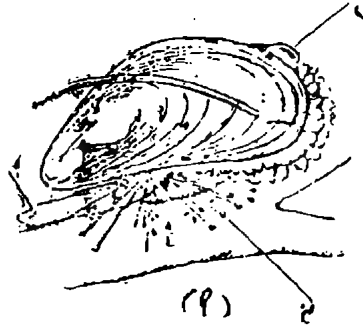
ولكنها في الغالب تستطيل وتتخذ شكل قناة ، تمتد وتتفرع في سائر النبات . وتحتوي هذه الغدد عادة على زيوت طيارة أو تربينات (Terpenes) مثل زيت التربنتينا في نبات الصنوبر ، وأحياناً تفرز مواد مخاطية كما هو الحال في كثير من النباتات .

وهناك - بالإضافة إلى ما تقدم - قنوات لبنية (Laticiferous ducts) تمتد في سائر أجزاء النبات ، وتفرز ما يسمى « اللبنة » (Latex) ولا تمثل هذه القنوات فراغات بينية ، بل أنابيب عظيمة الطول تتجمع بداخلها الإفرازات (شكل ٩٤) ، وتنشأ هذه القنوات غالباً بالتحام صفوف رأسية من الخلايا يكون كل صف منها قناة واحدة متصلة بعد انقراض ما بينها من جدر طرفية فاصلة ، وتعرف في هذه الحالة بالأوعية اللبينية (Laticiferous vessels) . وهي إما أن تظل غير متفرعة ، أو تتلاق وتلتحم ، مكونة

جهازاً يتفرع بين الخلايا البارنشيمية . وأحياناً تتكون القنوات من استطالة خلية واحدة بدرجة خارقة للعادة ، وتعرف في هذه الحالة بالأنابيب أو الخلايا اليتوعية (Laticiferous tubes or cells) .

والقنوات اليتوعية بنوعها عناصر حية رقيقة الجدر ، تبطن جدرانها من الداخل طبقة رقيقة من السيتوبلازم ، تغلف فجوة أنبوبية واسعة ، تمتلئ باليتوع المفرز . وتوجد بطبقة السيتوبلازم أنوية عديدة صغيرة الحجم ، موزعة في سائر أجزاء القناة ، وناشئة عن انقسام النواة الأصلية ، الذي يستمر باستمرار الزيادة في طول القناة . وتبدو هذه القنوات مستديرة في القطاع المستعرض (شكل ٩٥) ، لا تختلف في الحجم اختلافاً يذكر عن الخلايا البارنشيمية المحيطة بها ، وإن بدت أحياناً أدكن منها ، بسبب وجود اليتوع الذي يصبح داكناً عندما يتعرض للهواء .

(شكل ٩٥)



(شكل ٩٤)



من الأنابيب اليتوعية مقطوعة طويلاً وعرضياً
ومنتشرة بين الخلايا البارنشيمية

قنوات يتوعية في جذر نبات أسنان النعنع
(Târaxacum)

ويوجد اليتوع بنوع خاص في الفصائل السوسيدية (Euphorbiaceae) والتوتية (Moraceae) ، والحشخاشية (Papaveraceae) ، والعشارية (Asclepiadaceae) والمركبة (Compositae) .

(مجموعة الأنسجة الضامة)

تحتاج الأنسجة الداخلية للنباتات الراقية عادة إلى الوقاية من المؤثرات الخارجية المختلفة ، كعوامل التبخر الجوية التي تسبب فقد كميات كبيرة من ماء النبات ، وعوامل التجريح والتزيق ، وما شابههما من أضرار ، كما تحتاج إلى ما يحول دون فقدانها لكميات كبيرة من المواد الغذائية القابلة للانتشار .

وتقوم بمثل هذه الوقاية أنسجة تنفرد بـمميزات تركيبية خاصة ، هي أنسجة البشرة والفلين . أما النسيج الفليني (Cork tissue) فهو نسيج ضام ثانوى ليس له أصل في الأعضاء الحديثة ، ولكنه يحل في الأعضاء المسنة محل البشرة الممزقة ، ويكون غلافًا يحيط بالسيقان والجذور المسنة ليقبها مختلف المؤثرات ، وسنرجىء التحدث عنه بالتفصيل إلى باب تال ، ونقتصر الحديث هنا على النسيج البشرى (Epidermal tissue) .

(النسيج البشرى)

يختلف النسيج البشرى عن النسيج الفليني بأنه نسيج مستديم ابتدائى ، لأنه نشأ من نسيج إنشائى ابتدائى ، هو منشىء البشرة في القمة النامية ، ومع أنه يغلف النبات تغليفاً وافياً فإنه يسمح بتبادل المواد المختلفة بين النبات والوسط المحيط به ، ويضم النسيج البشرى ما يأتى : (أ) الخلايا البشرية ، (ب) الثغور (ج) الشعيرات والزوائد السطحية .

(أ) الخلايا البشرية : تتكون البشرة عادة من طبقة واحدة من الخلايا الحية ، ليس بينها فراغات هوائية . وتبدو الجدر الجانبية لهذه الخلايا متعرجة في بشرة الأوراق إذا فحصت في منظر سطحي ، أما في القطاع المستعرض فإن الخلايا تبدو منتظمة غاية الانتظام ، ومتساوية العمق ، سواء في السيقان والأوراق ، وهي مستطيلة أو عديمة الشكل ، ويكون السيتوبلازم طبقة رقيقة تبطن جدرها من الداخل وتغلف فجوة كبيرة مملوءة بمصير خلوى ، عديم اللون غالباً أو ملون أحياناً . وفي النباتات الراقية لا تحتوي خلايا البشرة

عادة على أية بلاستيديات خضر ، سواء في الأوراق أو السيقان ، فيما عدا نباتات الظل والنباتات المائية ، ولكن توجد تلك البلاستيديات في بشرة النباتات اللازهرية — كالسراخس — وفي هذه الحالة تشترك البشرة في عملية التمثيل .

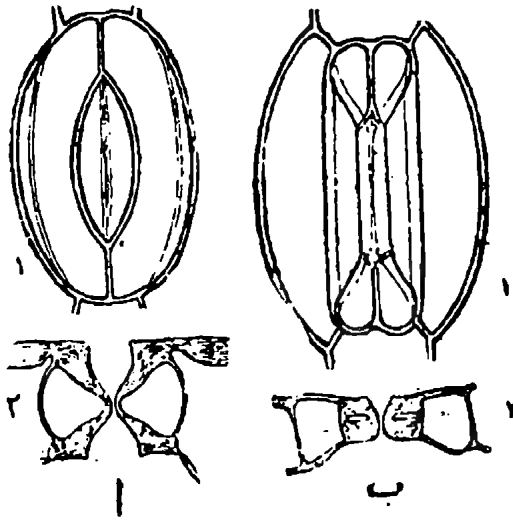
وتتغلظ الجدر الخارجية لخلايا البشرة عادة ، وتتغطى في الأعضاء الهوائية بأدمة (Cuticle) من مادة الكيوتين ، تختلف سمكها باختلاف النباتات والبيئات التي تعيش فيها . وتكون هذه الأدمة غطاء متصللا على سطح البشرة غير نفاذ أو قليل الإنفاذ ، سواء للماء أو للغازات . ولذلك فإن الأدمة ذات أثر فعال في تقليل ما يفقد بالنتج من ماء النبات ، وكلما زاد سمكها زادت قدرتها على تقليل النتج . ويفيد تغلظ الأدمة والجدار الخارجي للبشرة أيضاً في تقوية تلك الطبقة وجعلها صلبة كبيرة الاحتمال . وفي كثير من الأعضاء النباتية يترسب الشمع فوق أدمة البشرة ، ولذلك ينحسر عنها الماء إذا سقط عليها دون أن يبللها ودون أن يمتصه النبات . ويكون الشمع أحياناً طبقة رقيقة فوق سطح الأدمة ، كما في ثمار البرقوق وسيقان قصب السكر . وأحياناً يترسب السيليكا أو الحجر الجيري في الجدر الخارجية لخلايا البشرة ، فيزيدها ذلك صلابة وقوة ، كما في النجيليات .

(ب) الثغور : لما كانت البشرة خالية من الفراغات البينية ، ومغطاة بأدمة تكاد تكون غير نفاذة ، وتعوق إلى حد ما تبادل الغازات بين الأنسجة الداخلية للنبات والهواء الجوي ، ولما كانت أهم الوظائف الحيوية التي يقوم بها النبات — وهي وظائف البناء الضوئي والتنفس والنتج — تعتمد على هذا التبادل الغازي ، فقد أصبح ضرورياً أن تخترق البشرة ثقب وظيفتها توصيل جهاز التهوية الممثل بالفراغات البينية داخل جسم النبات بالهواء الجوي الخارجي . هذه الثقوب تنتشر بغزارة على سطوح الأوراق والسيقان العشبية والخضراء ، وهي مقصورة على أعضاء النبات المعرضة للضوء والهواء ولا وجود لها في الأجزاء الأرضية ، ويحيط بكل ثقب خليتان تعرفان بالخليتين الحارستين ، ويعرف الثقب والخليتان بالثغر أو الجهاز الثغري (Stoma or stomatal apparatus) . وتؤدي فتحة الثغر إلى قناة قصيرة ، وتحمدها على جانبيها

الخليتان الحارستان (Guard cells) ، وهما خليتان كلويتا الشكل كما يبدوان في منظر سطحي (شكل ٩٦ : أ-١) ، وتوجد أكثر الثغور حجاً في النجيليات حيث تتخذ الخلايا الحارسة شكلاً صولجانياً (شكل ٩٦ : ب) والثغور أكبر بوجه عام في نباتات البيئة الرطبة الظليلة منها في نباتات البيئة الجافة المكشوفة .

وتخترق القناة الثغرية البشرة ، وتنتهي من أسفل بفراغ يبنى كبير يعرف بالغرفة تحت الثغرية (Substomatal chamber) (شكل ٩٧) . وتتصل هذه الغرفة بجهاز المسافات البينية المتشعب في الأنسجة البارنشيمية .

(شكل ٩٦)



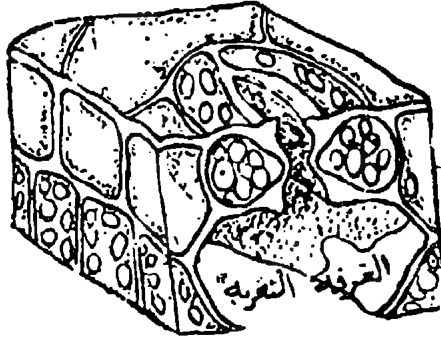
(١) ثغر من نوع الثغور الممزة لفصيلة
الترحبية ، (ب) ثغور من نوع الثغور
النجيلية (١) منظر سطحي ، (٢) نطاق
رأس . تمثل الخطوط الثقيلة شكل الثغور
حالة التفتح ، أما الخفيفة فتشكله في
حالة الانغلاق ، ويلاحظ في (ب : ٢، ١)
وجود خليتين ساعدتين على جانبي الخليتين
الحارستين (عن سفا سبرجر)

وتحتوي الخلايا الحارسة

دائماً على بروتوبلاست ونواة
كبيرة وكذلك على بلاستيدات
خضراء ، وهي وحدها بين جميع
خلايا البشرة التي تحتوى على
حببات نشوية صغيرة من نوع
النشا الانتقالي وتتميز الخلايا
الحارسة أيضاً بعدم انتظام التغلظ
في جدرانها المختلفة ، فالجدار رقيقة
في الناحية الظهرية للثغر - أى
البعيدة عن القناة - وسميكة
في الناحية البطنية المحددة للقناة
(شكل ٩٦ : أ-٢) ، وحتى
الجدار البطنى لا ينتظم التغلظ في
جميع أجزائه ، إذ أنه أغلظ في
طرفيه الخارجى والداخلى منه في

الوسط . وفي بعض الأحيان تتكون في هذه الأجزاء الطرفية من الجدار البطنية
نتوءات صغيرة من مادة التغلظ ، تتجه جانبياً تجاه وسط الثقب (شكل ٩٧)
ويبرز الجزء الأوسط الرقيق من الجدار البطنى لكلا الخليتين الحارستين داخل

القناة ، فيقسمها إلى غرفتين خارجية وداخلية أمام الجزء الأوسط المحتقن وخلفه (شكل ٩٦ : أ-٢) ، ويبدو هذا التركيب واضحاً في قطاع مستعرض في ورقة خضراء أو



رسم توضيحي يبين جزء من أحد الثغور و منظر سطحي ولطام وأسيال الثغور تظهر به الخلايا الحارسة والفتحة الثغورية منتبهة من أسفل بالهفرة تحت الثغرية

ساق حديثة ، وهو يساعد على تفتح الثغور وانغلاقها حسب حاجة النبات فعندما تمتلئ الخلايا الحارسة بالماء وتنتفخ فإن الأجزاء الرقيقة من جدار الخلايا الحارسة تتمدد ، وبذلك يقل تقوس الأجزاء الرقيقة التي بوسط الجدر البطنية ، أى يزداد تفلطحها ، فتباعد ، وينفتح الثغر. أما إذا فقدت الخلايا الحارسة جانباً كبيراً من مائها فإن انتفاخها يقل ،

فيقل تبعاً له الضغط على الجدر الرقيقة ، وبذلك يزداد تقوس الأجزاء الوسطى من الجدر البطنية ، أى ينقص تفلطحها ، فتتقارب أو تتلاقى ، ويضيق الثغر أو ينغلق ، أما الأجزاء السميكة فلا يطرأ عليها تغيير يذكر لصلابتها .

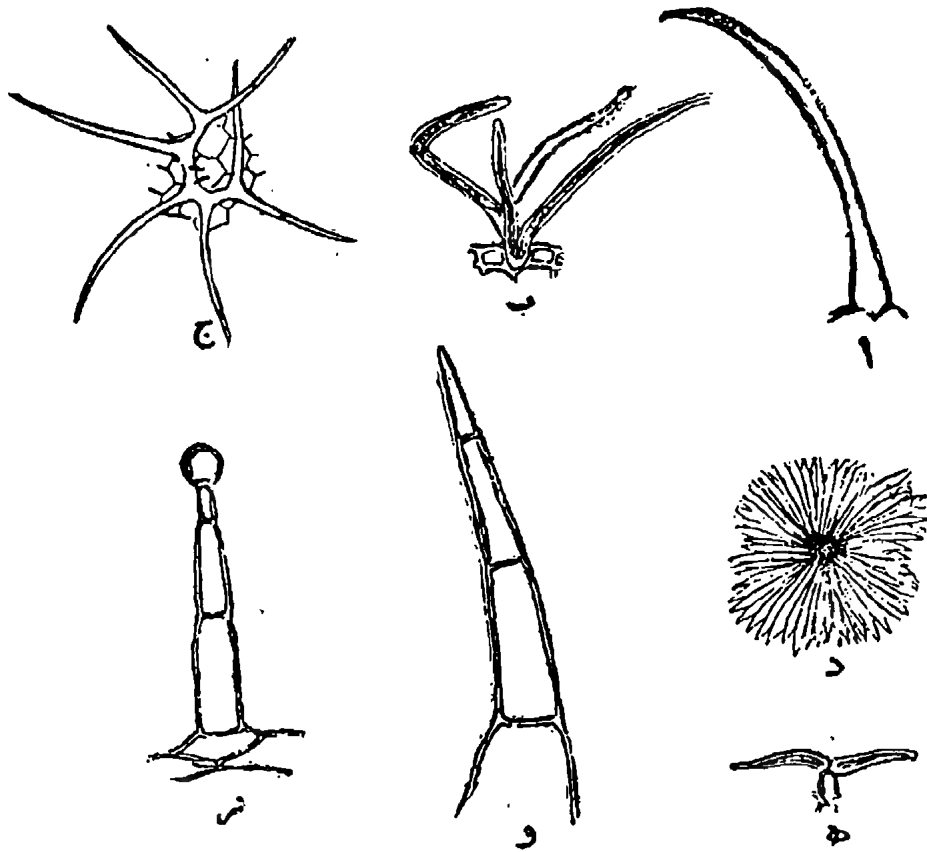
ولتفتح الثغور نهائياً وانغلاقها ليلاً علاقة وثيقة بتغيرات الضغط الأزموزي لعصيرها الخلوي ، والضغط الأزموزي بدوره يتأثر بالعوامل الخارجية ، وأهمها الضوء ، كما سيأتى فى قسم وظائف الأعضاء . وتنظم الثغور عمليات النتح وتبادل الغازات فى النبات . وكثيراً ما تحاط على جانبيها بخلايا خاصة - تسمى الخلايا الإضافية (Subsidiary cells) - تكون فى العادة أقل تغلظاً من بقية خلايا البشرة وتؤدي دوراً مساعداً فى عملية انفتاح الثغور وانغلاقها (شكل ٩٦ : ب) .

وفى كثير من النباتات ، كنباتى الصبار (Aloe) والرتم (Retama raetam) -والأخير نبات جفافى واسع الانتشار فى الصحارى المصرية- تنخفض الثغور عن مستوى سطح العضو الناتج ، فيحميها ذلك من التعرض المباشر لتأثير عوامل

التبخير الجوية . وهذه الظاهرة أكثر ما تكون وضوحاً في نباتات المناطق الجافة ، حيث الحاجة شديدة إلى اختزال النتح .

(ج) الشعيرات والزوائد السطحية (Hairs or Trichomes) : تحمل البشرة في معظم النباتات شعيرات أو زوائد سطحية ، لها أشكال ووظائف متعددة ، فبعضها يؤدي وظيفة الوقاية أو التدعيم ، والبعض شعيرات غدية أو قشور أو مجرد نتوءات ، ومنها أيضاً الشعيرات الجذرية الماصة . وتتميز شعيرات البشرة عن الأشواك - كأشواك الورد مثلاً - بخروجها من طبقة

(شكل ٩٨)



أنواع الشعيرات والزوائد السطحية : (١) شعيرة منفرعة وحيدة الخلية في نبات الصيق (Cynoglossum) ، (ب) شعيرات وحيدة الخلية متفرعة في نبات البلوط (Quercus) ، (ج) شعيرة وحيدة الخلية منفرعة في نبات المنثور (Matthiola) ، (د) منظر شعيرة الزيتون القرصية ، (هـ) منظر جانبي لنفس الشعيرة ، (و) شعيرة عسيدة الخلايا لبسات الفروع .

البشرة وحدها ، بينما تخرج الأشواك من البشرة والطبقة التي تحتها . ومن الممكن أن تتكون الشعيرات على جميع أنواع الأعضاء النباتية ، أوراقاً وسيقاناً وجذوراً وأزهاراً وثماراً ، وهي إما أن تبقى على النبات طول حياته ، أو تستمر لفترة محدودة ثم تسقط ، وفي الحالة الأولى إما أن تستمر حيه بحيث يمكن تمييز أجزائها البروتوبلازمية المختلفة - كالسيتوبلازم والنواة - كما في شعيرات القرع والشعيرات الغدية ، أو تفقد مادتها البروتوبلازمية بعد مدة ، فتموت وتجف وتمتلئ فجواتها بالهواء ، وتبدو بيضاء لامعة . ويبدأ تكوين الشعيرات والزوائد في طور مبكر أثناء نمو العضو الذي يحملها .

وتختلف أشكال الشعيرات كثيراً في النباتات المختلفة (شكل ٩٨) ، فتكون وحيدة الخلية أو متعددة الخلايا ، كما أن الأولى إما أن تكون نتوءات قصيرة ، أو زوائد مدببة ، أو امتدادات أنبوبية طويلة لخلايا البشرة كما في حالة الشعيرات الجذرية الماصة . وقد تكون الشعيرات بسيطة كشعيرات القرع أو متفرعة كشعيرات المنثور (Matthiola) . وفي نبات القطن توجد على سطح الساق شعيرات نجمية الشكل .

وتكون شعيرات البشرة أحياناً متباعدة غير مزدحمة ، كما في القطن والذرة وعباد الشمس ، أو تكون كثيفة تغطي سطح النبات بغزارة وتتخذ شكلاً وبرياً كما في كثير من نباتات الصحارى ، حيث تساعد على تقليل النتح ، نظراً لاحتجازها هواء رطباً في ثناياها ، وعزلها سطح النبات الناتج عن الهواء الجوى الجاف المتحرك .

وتتغطي سطوح البتلات في أزهار بعض النباتات ، كالبناسية (Viola tricolor) بزوائد قصيرة (Papillae) ، تجعلها مخملية الملمس غير قابلة للابتلال .

مجموع الأنسجة الوعائية أو التوصيلية

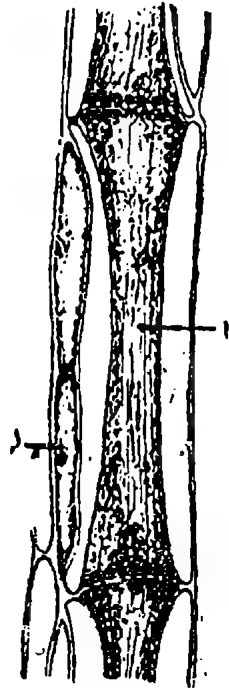
يحتاج النبات في تغذيته إلى نقل مواد الغذاء في بعض صورها من عضو إلى آخر ، وتزداد هذه الحاجة ازدياداً مضطرباً كلما كبر النبات وأنجج خلايا وأنسجة جديدة . وكلما ارتفع مجموع الخضرى فوق سطح الأرض ، وتختص بأداء هذه الوظيفة أنسجة تعرف بالأنسجة الوعائية أو الموصلية (Vascular or conducting tissues) ، تحتوى على قنوات ذات تركيب خاص ، مستطيلة في اتجاه التوصيل ، وتتصل هذه الأنسجة بعضها ببعض في سائر أجزاء النبات مكونة جهازاً موحداً ، يمتد ويتشعب في كل اتجاه . ويتكون جهاز التوصيل من خشب ولحاء ، يختص أولهما بتوصيل الماء ومحلول التربة من الجذور إلى الساق فالأوراق ، بينما يقوم الثانى بتوصيل المواد الغذائية المحملة بالأوراق في الاتجاه المضاد .

(اللحاء)

يتكون اللحاء من الأنابيب الغربالية (Sieve tubes) والخلايا المرافقة (Companion cells) ، ومن بارنشيمة لحاء (Phloem parenchyma) وألياف لحاء (Bast or Phloem fibres) ، ومن خلايا حجرية (Sclereids) أيضاً في بعض الأحيان ، وفيما عدا الألياف والخلايا الحجرية لا تتغلظ الجدر في عناصر اللحاء إلى درجة تغلظها في عناصر الخشب .

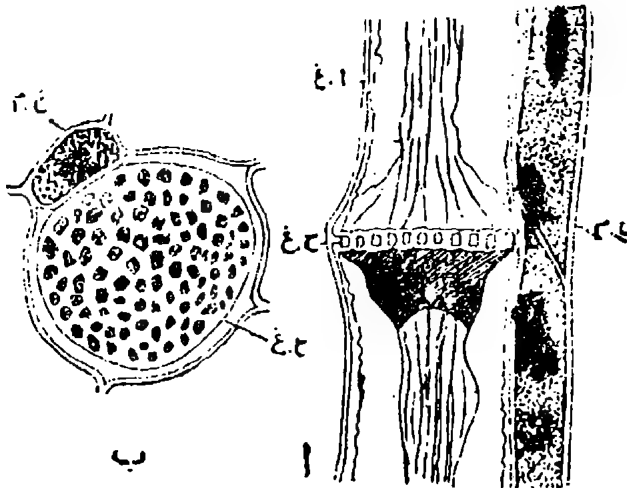
الأنابيب الغربالية : تتركب كل أنبوبة من صف رأسى من خلايا مستطيلة رقيقة الجدر ، وتخرق الجدر المستعرضة - التى تفصل هذه الخلايا - ثقوب توذى وظيفة توصيل المواد البروتينية والسكر بوليدراتية . ولوجود هذه الثقوب تتخذ الجدر المستعرضة هيئة الغرابيل (شكلا ٩٩ و ١٠٠) وتعرف بالصفائح أو الحواجز الغربالية (Sieve plates) ، ويمكن رؤية هذه الصفائح بوضوح في سيقان اللوف والقرع (شكل ١٠٠) ، وفي كثير من النباتات تكون ماثلة الوضع قليلا بدل أن تكون مستعرضة .

(شكل ٩٩)



جزء من أنبوبة غريبالية (أ)
وخللاها الرقيقة (ب) ولشاهد
الصفائح الغريبالية بين خلايا
الأنبوبة الغريبالية

(شكل ١٠٠)



الأنابيب الغريبالية في ساق الفروع (أ) جزء من إحدى
الأنابيب الغريبالية في قطاع طولي، ويظهر أحد المواجهات الغريبالية
(ج. ح) بالأنبوبة (أ. غ.) كما ترى خلايان مرافقتان (خ. م)
(ب) حاجز غريبالى في منظره سطحى بقطاع مستعرض وبجواره
خلايا مرافقة (عن سمول)

وحلية الأنبوبة الغريبالية خلية عادية في
أول أدوار تكوينها ، بها نواة واحدة . وتبطن
جدارها طبقة من السيتوبلازم : وبفجواتها
عصير خلوى مائى - قوى التركيز نسبياً -
قلوى التفاعل ، غنى بالمواد الزلائية القابلة
للتجمد وبالألاح غير العضوية ، وخاصة
الفوسفات . ثم تختفى النواة أثناء نمو الخلية .
ويصبح السيتوبلازم رقيقاً نفاذاً : ويظهر في
وسط الفجوة خيط هلامى غليظ ، يزداد سمكاً
عند الحواجز الغريبالية (شكل ١٠٠) حيث
يكون ما يسمى بالسدادات الهلامية . ومن
المحتمل أن الخيط والسدادات الهلامية
لا وجود لها في اللحاء الحى ، وإنما تظهر فقط
في الأنسجة المحفوظة المصبوغة ، نتيجة
للمعاملات المختلفة التى تجرى عليها أثناء

تحضيرها للفحص
المجهز .

وجدر الأنابيب
الغريبالية رقيقة
دائماً غير ملجننة ،
تتركب أساساً من
السليولوز : وهى
متوترة باستمرار
بسبب ضغط
المحتويات الداخلية
عليها أزموزياً .

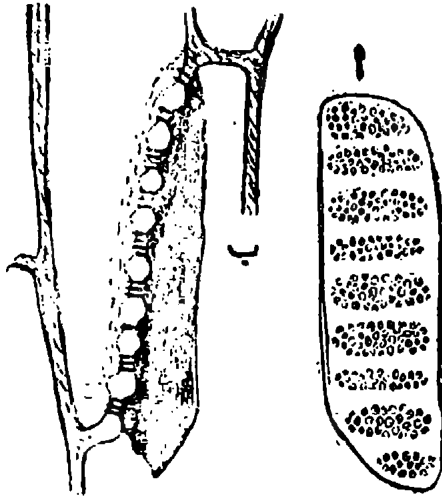
وتظل هذه الأنابيب قائمة بوظائفها لمدة فصل واحد من فصول النشاط الخضرى ، تتوقف بعده عن العمل . وقبل أن يقف نشاطها تغطي صفائحها الغربالية بصفائح لامعة من مادة كربوإيدراتية عديدة التسكر تعرف بالكالوز (Callose) ، أما الصفائح نفسها فتسمى كالس (Callus) . وتبدأ هذه الصفائح رقيقة في أول الأمر ، ثم تزداد في السمك بالتدريج ، ويعوق الكالوس انتقال المواد بين خلايا الأنبوبة الواحدة ، ولذلك يودى تكونه إلى وقف عمل الأنابيب ، ويحدث أحياناً أن تستأنف الأنبوبة عملها في فصل النمو التالى ، ولكن ذلك لا يتم إلا بعد أن يذوب الكالوس ويختفى ، ثم يتكون ثانية بصفة مستديمة في الشتاء التالى ، ويكون ذلك إيداناً بانتهاء عمل الأنبوبة .

وتمثل ثقبوب الصفائح الغربالية فتحات تمر منها المادة البروتوبلازمية للخلايا المتعاقبة . والبروتوبلازم الواصل بين الخلايا شديد الإنفاذ لدرجة أنه يسمح بمرور العصير خلاله بحرية تامة من خلية إلى خلية . وبعد أن يتكون الكالوس في الأنابيب الغربالية المسنة ، تحترقه الخيوط البروتوبلازمية ، ويستمر اختراقها له فترة من الزمن ثم تنقطع .

والصفائح الغربالية إما بسيطة تشتمل على مساحة مثقبة واحدة - وهي الغالبة بين النباتات الراقية - وإما مركبة تشتمل على أكثر من مساحة مثقبة . ومن أمثلة النوع الأول الصفائح الغربالية في سيقان اللوف والقرع (شكل ١٠٠) ، ومن النوع الثانى الصفائح الغربالية في ساق العنب (شكل ١٠١) .

الخلايا المرافقة : ترافق خلية الأنبوبة الغربالية عادة خلية حية - تعرف بالخلية المرافقة (Companion cell) - وتتكون بانقسام خلية والدة انقساماً طولياً إلى قسمين غير متكافئين ، أكبرهما يكون خلية الأنبوبة الغربالية ، وأصغرهما هو الخلية المرافقة (شكلاً ٩٩ و ١٠٠) . وقد تنقسم الخلية الوالدة أحياناً إلى أكثر من قسمين ، ويكون أكبرهما خلية الأنبوبة الغربالية ، بينما تكون بقية الأقسام عدداً من الخلايا المرافقة ، وفي هذه الحالة يكون لخلية الأنبوبة الغربالية أكثر من خلية مرافقة واحدة . وعدد الخلايا المرافقة

(شكل ١٠٥)



المواجز الغربالية المركبة: (١) منظر
سطحي لمواجز غربالي مركب في نبات العنب
ويرى به عدد من المساحات الغربالية ،
(ب) جدار طرفي مائل بين خليتين متجاورتين
من خلايا إحدى الأنابيب الغربالية لنبات
العنب وقد تحول إلى حاجز غربالي مركب ،
ونظير عليه المساحات الغربالية في
منخفضات (عن ستراسبرجر) .

غير ثابت ، بل يختلف في
الأنواع المختلفة من النباتات ،
وقد يختلف في النوع الواحد
أو حتى في النبات الواحد .
كذلك تختلف الخلايا المرافقة
في الحجم ، فبعضها تصل إلى
طول خلية الأنبوبة الغربالية
التي ترافقها ، وبعضها تظل أقصر
منها . وعندما تتعدد الخلايا
المرافقة فإنها إما أن تقع على
جوانب مختلفة من الأنبوبة
الغربالية ، أو تكون صفاً
رأسياً واحداً على أحد الجوانب
(شكل ٩٩) . وتوجد عدة
نقر بسيطة على الجدار الذي
يفصل الخلية المرافقة عن خلية

الأنبوبة الغربالية ، ومن المحتمل أن الروابط البلازمية تمر خلال هذه النقر
لتربط المادة الحية في الخليتين .

بارنشيمة اللحاء : يحتوي اللحاء على مقادير متفاوتة من الخلايا
البارنشيمية ، تؤدي مثل وظائف الخلايا البارنشيمية في الأنسجة الأخرى -
كاحتزان النشا والدهون وغيرها من المواد الغذائية والعضوية - كما تتجمع
فيها أيضاً الدباغيات والمواد الراتنجية . وبارنشيمة اللحاء خلايا مستطيلة تمتد
في اتجاه التوصيل .

وجدر الخلايا البارنشيمية في اللحاء الناشط تكون في العادة سليوزية
رقيقة ، ولكنها بعد أن ينتهي عمل اللحاء ، إما أن تظل رقيقة لا يطرأ عليها
أى تغير ، وإما أن تتلجنن كما يحدث في اللحاء الثاوى القديم . وتوجد نقر

بسيطة على الجدار التي بين الخلايا البارنشيمية والخلايا المرافقة ، وكذلك على الجدار التي بينها وبين الأنابيب الغربائية .

ألياف اللحاء : توجد الألياف في اللحاء الابتدائي بالأعضاء المسنة ، وكذلك في اللحاء الثانوي . وهي في الأعضاء الصغيرة قابلة للنمو في الطول . وعندما تذهب استطالتها تكون جدراناً ثانوية ، بها نقر بسيطة أو مضغوطة قليلاً .

(الخشب)

يتكون الخشب من العناصر الآتية :

- ١ - الأوعية أو القصبات (Vessels) .
- ٢ - القصديات (Tracheids) .
- ٣ - بارنشيمة الخشب (Xylem parenchyma) .
- ٤ - ألياف الخشب (Wood fibres) .

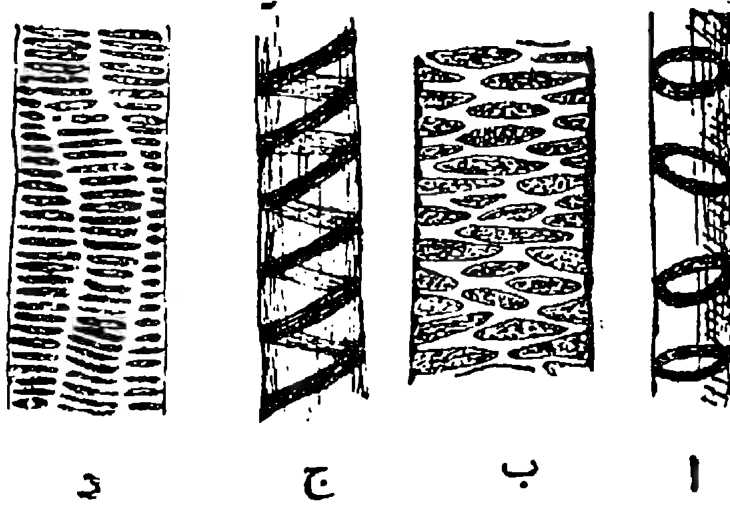
الأوعية : تمثل الأوعية قنوات التوصيل الأساسية في النباتات كاسيات البذور . وتكاد تكون مقصورة على هذا القسم من النباتات دون غيره . وهي عناصر ميتة ، جدرانها سميكة ملجننة ، مستديرة أو مضلعة في القطاع المستعرض وممتدة في اتجاه التوصيل ، ووظيفتها توصيل الماء واختزانه أحياناً ، وتحتوي لأوعية العاملة دائماً على قدر من الماء . كما تحتوي أيضاً على قدر من الهواء .

وينشأ الوعاء من صف رأسى من الخلايا الإنشائية ، تتغلظ جدرانها تغلظاً ثانوياً بعد أن تتم استطالتها ، وذلك بترسيب طبقات جديدة من مادة اللجنين ، وتذوب الجدار المستعرضة الفاصلة بين الخلايا ، فيؤدى ذلك إلى تكوين قناة متصلة ، تباين طولاً واتساعاً . وقد تتخلف من الجدار المستعرضة بعد انقراضها حافة حلقية تبرز قليلاً داخل مجويف الوعاء . أما إذا كانت الجدار مائلة فإنها لا تذوب بأكملها لتكون ثقباً واحداً متسعاً ، بل تكون عدداً من الثقوب العدسية الشكل ، مرتبة الواحد فوق الآخر في نظام سلمى . وفي حالات قليلة لا توجد ثقوب على الإطلاق في الجدار الفاصلة بين خلايا الأوعية ،

وإنما توجد نقر فقط عوضاً عنها . وفي هذه الحالات يكون طول الأوعية محدوداً . ويختلف طول الأوعية من نبات لآخر ، ففي بعض النباتات الخشبية المتسلقة تصل إلى بضعة أمتار . وفي شجر البلوط (Quercus) تصل إلى مترين ، واكتنفاً في غالبية النباتات لا تزيد على متر واحد ، أما متوسط طولها فيبلغ العشرة سنتيمترات . على أن أوسع الأوعية وأطولها هي أوعية النباتات المتسلقة .

ونحدث التغلظ الثانوى لجدر الأوعية على صور شتى ، ففي أجزاء الخشب الابتدائى - التى تتكون مبكرة - لا يغطى بمادة التغلظ الثانوى عادة إلا جزء صغير من مساحة الجدار الأولى للوعاء ، وتزداد نسبة المساحة المتغلظة ثانوياً بالتدرج في أجزاء الخشب الابتدائى التى تتكون بعد ذلك ، وفي الخشب الثانوى أيضاً . ففي أقدم أجزاء الخشب الابتدائى - وهو المعروف بالخشب الأول (Protoxylem) - يحدث التغلظ الثانوى في شكل حلقات منفصلة . وتكون الأوعية ضيقة ، وتسمى أوعية حلقية (Annular vessels) كما في شكل (١٠٢ : أ) ، وفي الأجزاء الأحدث يتخذ التغلظ شكلاً حلزونياً ، وتسمى الأوعية حلزونية أو لولبية (Spiral) شكل (١٠٢ : ج) وشكل (١٠٣ : و ، ج) وفيها يزداد تضغط اللولب وتتقارب حلقاته كلما تأخر تكوينها ، وبين هذين النوعين يوجد نوع ثالث يمكن مشاهدته في كثير من النباتات ، ويكون فيه التغلظ حلقياً وحلزونياً في آن واحد ، إذ يحدث التغلظ الحلقي في بعض أجزاء الجدار والحلزونى في أجزاء أخرى ، كما يزداد أيضاً حجم الوعاء . أما في الخشب التالى (Metaxylem) - وهو أحدث من الخشب الأول - فالأوعية أوسع وأكثر تغلظاً ، ومعظمها من النوع الشبكي أو المنقر . وقد تكون شبكية ومنقرة في آن واحد . وفي الأوعية الشبكية (Reticulate vessels) يتخذ التغلظ شكل شبكة (شكل ١٠٢ : و . ش) ، وقد تستطيل فجواتها الشبكية أحياناً في اتجاه أفقى فيقال للأوعية في هذه الحالة إنها سلمية شبكية (Scalariform reticulate) . أما الأوعية المنقورة (Pitted vessels) فهي أوسع أنواع الأوعية وأغلظها جدرًا ،

(شكل ١٠٢)

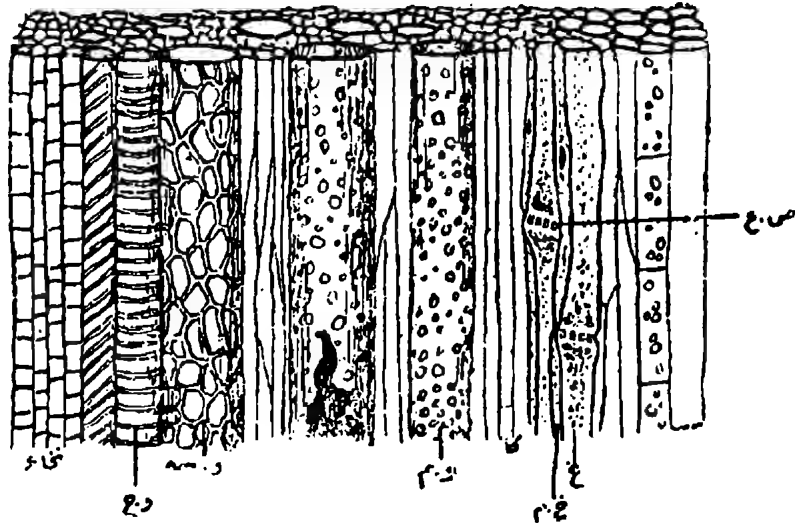


الأنواع المختلفة من الأوعية : (أ) وعاء حلقي ، (ب) وعاء شبكي سفري ، (ج) وعاء حلزوني ، (د) وعاء سلمي منقر .

وتوجد في الأجزاء البالغة من النبات التي توقفت عن النمو ، وتتميز بتلجن جدرانها تماما ، إلا في بعض مواضع على شكل نقر متناثرة وقد تكون هذه النقر بسيطة أو مضغوطة . وأحيانا تستطيل في اتجاه مستعرض ، وتترتب في صفوف منتظمة ، وبذلك يتخذ التغلظ شكلا سلميا (شكل ١٠٢ : د) ، ويقال للوعاء في هذه الحالة إنه سلمى منقر (Scalari-form pitted) ، أما الأوعية المنقرة الشبكية (Pitted reticulate) - (شكل ١٠٢ : ب) - ففيها تمثل الحيوط الشبكية أغلظ أجزاء الجدار ، أما الفجوات التي بين الحيوط فمتوسطة التغلظ وفيها تنثر النقر ، وهي أرق أجزاء الجدار .

ويلاحظ في أوعية الخشب التي تتكون في الأجزاء النامية من النبات أنها قليلة التغلظ ، وبذلك لا تعوق النمو في الطول والحجم . فعندما يستطيل العضو النامي يفتح اللولب اللجيني في الأوعية الحلزونية كما يفتح الزنبرك ، نتيجة لتمدد الأجزاء الرقيقة من الجدار ، كذلك تتباعد الحلقات في الأوعية الحلقية لنفس السبب ، ومع ذلك فإن سرعة النمو في الطول إذا زادت عن حد معين - كما في سيقان بعض النباتات ذوات الفلقة الواحدة - فإن الأوعية لا تتمزق ، ويتخلف عن تمزقها فجوة واسعة ، تظهر في الخشب الأول بالنبات البالغ .

(شكل ١٠٢)



جزء من قطاع طولى في حزمة وعائية حديثة بين عناصر اللحاء و الجزء الخارجى (إلى اليمين) وعناصر الخشب و الجزء الداخلى (إلى اليسار) وبينهما الكامبيوم ، (ح م)
 حلية مرافقة ، (م.خ) مبطنة قرابية ، (غ) أسبوبة قرابية ، (كا) كامبيوم ، (و)
 ح) وعاء حلزوى ، (و.خ) وعاء شبكى ، (و م) وعاء سفري

القصبليات : تمثل القصبليات (Tracheids) نوعاً آخر من عناصر التوصيل الخشبية . وهى كالأوعية عناصر ممتدة . استطيلة عند اكتمال نموها ، تتكون كل منها من خلية واحدة ، لها جدر ثانوية ملجننة ، وليس لها بروتوبلاست ، ولكنها تختلف عن الأوعية فى خلل جدرها الطرفية من الثقوب الموصلة بين الخلايا ، إذ تحمل محل الأخيرة نقر موزعة على الجدر المشتركة بين القصبليات المتجاورة ، تنفذ فيها السوائل الصاعدة فى الجهاز التوصيلى . أما فى الأوعية فإن هذه السوائل تمر خلال الثقوب التى بين خلايا الوعاء الواحد . والقصبليات كثيرة الشبه بالألياف من حيث شكلها البروزنشىمى ، ولو أن تدبب أطرافها أقل منه فى الألياف ، كما أن فجواتها أوسع وجدرها أقل تغلظاً ، وهى أيضاً أقصر وأعرض من الألياف ، بيد أنه فى بعض الأحيان تتضاءل الفروق ويزداد الشبه بين القصبليات والألياف حتى يتعذر التمييز بينها ، وتعرف القصبليات فى هذه الحالة بالقصبليات الليفية (Fibrous tracheids) وتكون .

القصبليات الجانب الأكبر من الخشب في كثير من النباتات ، وهي تمثل في معظم الصنوبريات والتريديات النوع الوحيد من عناصر التوصيل الخشبية.

ويحدث التغلظ في جدر القصبليات على أشكال متعددة . فالقصبليات المتكونة في الأجزاء النامية تكون حلقة التلجن أو حلزونية ، وبذلك تسمح باستطالة العضو كما في الأوعية ، أما التي تنشأ بعد ذلك فتكون شبكية ، بينما توجد القصبليات المنقرة في الأعضاء البالغة ، وفي النوع الأخير يكون الجدار كله ملجئاً فيما عدا النقر . وقد تكون النقر بسيطة كنقر الخلايا البارنشيمية ، أو مضفوفة ... وهو الغالب - كما في خشب الصنوبر (شكل ٨٥) ، وفي الأخيرة يسقف غشاء النقرة - وهو يمثل الجدار الأولى - من جميع نواحيه بقبوة من الجدار الثانوي الملجن . وتوجد بوسط القبوة عند القمة فتحة ضيقة هي ثقب النقرة تؤدي إلى تجويف يفصل القبوة عن الغشاء . والأغشية الأولية للنقر رقيقة ، ولكن ترسب عليها في أكثر الأحيان أقراص مغلظة يعرف كل منها بالتخت النقرى (شكل ٨٥) ويشغل الجزء الأوسط من الغشاء . ويظل معلقاً من طرفه بالجزء الرقيق من غشاء النقرة - كما ذكرنا في الباب السابق - ويستطيع التخت النقرى بفضل طرفيه الرقيقين أن يتحرك بسهولة من أحد جانبي التجويف إلى الجانب الآخر ، وبذلك يسد الثقب في الجانب الذي ينتقل إليه ، ويمنع اتصال القصبية في ذلك الموضع بالقصبية المجاورة لها ، أي أنه يكون بمثابة صمام الأمن يمنع انتقال الضغط العالي من بعض أجزاء الجهاز التوصيلي إلى سائر الأجزاء . ونعتبر النقر المضفوفة من خصائص الخلايا الميتة التي لا تحتوى من مادة البروتوبلازم ما يقوى أغشيتها ، ويمنعها من التذبذب ذات اليمين وذات الشمال . وهناك قلة من القصبليات نقرها ضيقة كشقوق مستعرضة ، وتعرف بالقصبليات السلمية (Scalariform tracheids) ، وهي مميزة للنباتات التريدية ، وإن كانت توجد أيضاً في غيرها من الأقسام .

ألياف الخشب : سبق الحديث عن الألياف عند وصف الأنسجة الدعامية

فأذكرنا أنها عناصر ميتة ملجننة . وحيدة الخلية ، مدببة الأطراف ، ذات وظيفة تدعيمية . وتكثر الألياف عادة في الخشب الذى تمثل فيه الأوعية عناصر التوصيل الرئيسية ، أما الخشب الذى تغلب فيه القصيبات فتندر به الألياف ، وذلك لأن الأولى ترُدَى إلى حد ما وظيفة الثانية .

بارنشيمة الخشب : توجد بكل من الحشبين الابتدائى والثانوى خلايا بارنشيمية حية قد تكون مستطيلة أو قصيرة ، والنوع التصير هو الأعم ، وتكثر النقر البسيطة على جدر هذه الخلايا ، وتتكون لها جدر ثانوية أحياناً ، وفي هذه الحالة توجد نقر مضفوفة أو نصف مضفوفة على الجدر الفاصلة بين الخلايا المتجاورة . وبارنشيمة الخشب خلايا حية فى الغالب ، ولكنها قد تفقد محتوياتها الحية فى الأجزاء المدسة فتتحول إلى عناصر ميتة . وتحتوى الخلايا الحية على طائفة من المواد ، فهى مختصة باختران مواد الغذاء المدخر - كالنشأ والمواد الدهنية - ويتراكم فيها النشأ عادة قرب نهاية فصل النمو ، ثم يستهلك كله أو بعضه فى فصل النمو التالى . وقد تحتوى بارنشيمة الخشب أيضاً على مواد أخرى كالمباغيات والبللورات وغيرها .

ويختلف توزيع الخلايا البارنشيمية داخل الخشب فى النباتات المختلفة ، فأحياناً تكون متناثرة بين العناصر الخشبية الأخرى ، وأحياناً تتجمع حول الأوعية ، وفى حالات أخرى ترافق عناصر الخشب التى تظهر فى آخر فصل النمو . وتساعد طريقة توزيع العناصر البارنشيمية على تمييز أنواع النباتات الخشبية .

الباب التاسع

التركيب الداخلى للسيقان الحديثة

ذكرنا فى باب سابق أن الخلايا الجديدة التى يكونها النبات أثناء نموه تنشأ من مناطق نمو خاصة ، توجد فى النباتات الزهرية بقمم السيقان والجذور وفروعها . ويمكن دراسة القمة النامية لساق نبات زهرى بقطعه قطعاً رأسياً منصفاً (شكل ٨٨) وفحص القطاع بالمجهر . إذ ذاك يرى السطح الخارجى لمنطقة النمو فلفطحاً أو محدباً ، وأحياناً مخروطياً ، وتخرج أصول البراعم الإبطية والأوراق من مواضع جانبية تحت القمة ، وتبدو كتتوءات من سطح الساق متزاحمة خارجية الأصل ، وتتعاقب الأوراق على الساق تعاقباً قياً ، فترداد فى الحجم تدريجياً كلما بعدت عن القمة .

وفى أقصى القمة النامية يوجد النسيج الإنشائى الأولى (Promeristem) غير المتميز ، وخلفه تبدأ الخلايا فى التشكل إلى عدد من الأنسجة الإنشائية الابتدائية ، هى منشئات انبشرة والقشرة والأسطوانة الوعائية .

طرق التوزيع العام للأنسجة :

تنقسم الأنسجة الابتدائية التى تتكون منها الساق الحديثة إلى مجاميع الأنسجة الضامة الأساسية والوعائية . وتقوم الاختلافات فى تركيب السيقان المختلفة على أساس الاختلافات فى نسبة هذه المجاميع الثلاثة من الأنسجة وفى ترتيب مواضعها ، ففى معظم النباتات الوعائية تنتشر مجموعة الأنسجة الأساسية بين الأنسجة الوعائية وتتخللها ، وبذلك تتخذ الأخيرة شكل أسطوانة جوفاء مغلقة تقع داخل مجموع النسيج الأساسى ، أو شكل حزم منفصلة ومرتبطة فى حلقة واحدة ، أو شكل حزم متفرقة ومتناثرة فى سائر أرجاء مجموع النسيج الأساسى . ويظهر هذا الترتيب واضحاً فى القطاعات المستعرضة بالسلاميات .

وفي الحالات التي يكون فيها النسيج الوعائي أسطوانة مصممة ، يسمى النسيج الأساسي الواقع خارج تلك الأسطوانة - والذي يفصلها عن البشرة - بالقشرة (Cortex) ، أما إذا كان على شكل أسطوانة جوفاء فإنها تحتوي بداخلها جزءاً من النسيج الأساسي يعرف بالأنخاع (Medulla or Pith) ، وإذا كانت الأسطوانة الوعائية منقسمة إلى حزم منفصلة فإن المسافات التي بين الحزم تملأ بأجزاء من النسيج الأساسي تعرف بالأشعة النخاعية (Medullary rays) أما في السيقان التي تتبعثر فيها الحزم داخل النسيج الأساسي فقلما يتميز الأخير إلى قشرة وأنخاع وأشعة نخاعية .

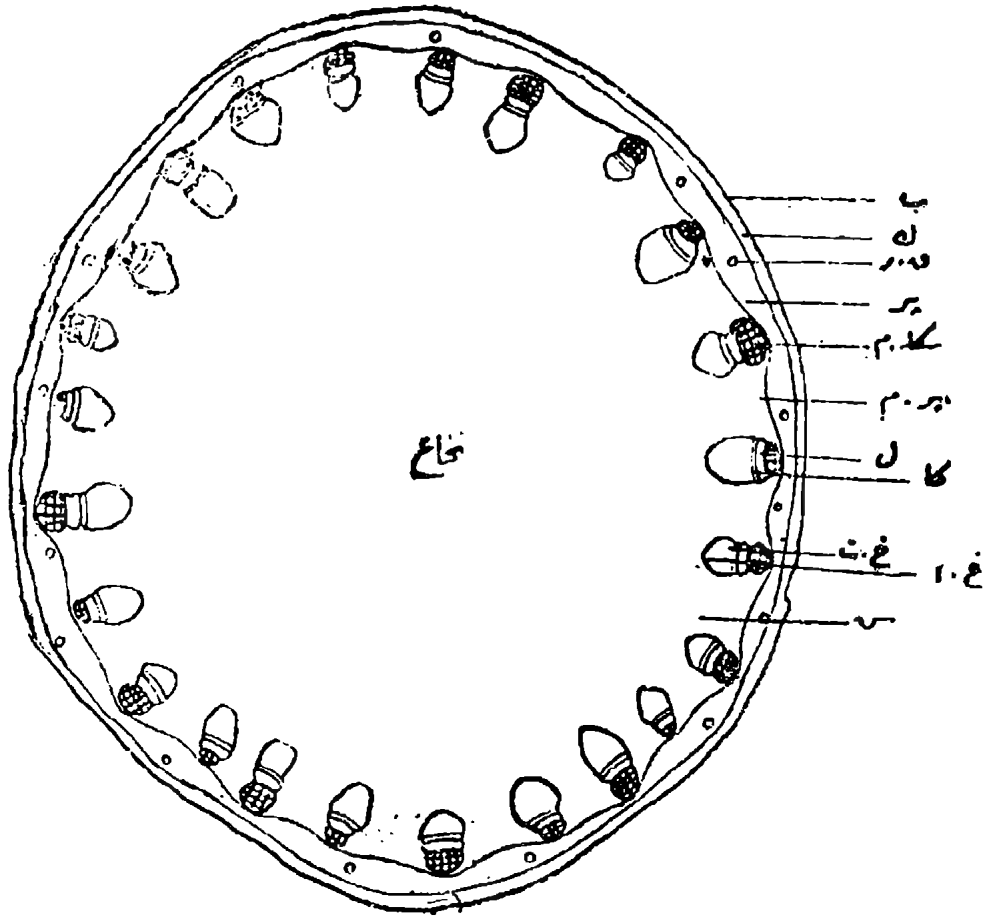
(ساق ذوات الفلقتين)

ساق عباد الشمس :

يمكن دراسة التركيب الداخلي لساق حديثة في قطاع مستعرض بإحدى السلاميات القريبة من القمة النامية لساق عباد الشمس (Helianthus) ، وإذا فحص ذلك القطاع بالقوة الصغيرة للمجهر ، فإن أول ما يسترعى النظر أن النسيج الوعائي مرتب في حلقة واحدة من الحزم المنفصلة (شكل ١٠٤) ، وأن الخشب يقع في الجانب الداخلي للحزم ، بينما يقع اللحاء في الجانب الخارجي منها ، كما يلاحظ أيضاً أن الخشب واللحاء في كل حزمة يقعان على نصف قطر واحد ، ويسمى هذا النوع من الحزم « بالحزم الجانبية » (Collateral bundles) .

ويؤدي انتظام الحزم الوعائية في حلقة مفرغة إلى انقسام النسيج الأساسي إلى ثلاث مناطق : (١) القشرة خارج الأسطوانة الوعائية و (٢) الأنخاع في الجزء المركزي و (٣) الأشعة النخاعية بين الحزم وتصل ما بين القشرة والأنخاع . وتقسيم النسيج الأساسي إلى هذه الأقسام الثلاثة إنما هو توزيع لمواضع أجزائه المختلفة فحسب ، ولا ينطوي على أى اختلاف في أشكال الخلايا ، إذ أنها في الأجزاء الثلاثة على السواء خلايا بارنشيمية رقيقة الجدر .

(شكل ١٠٤)

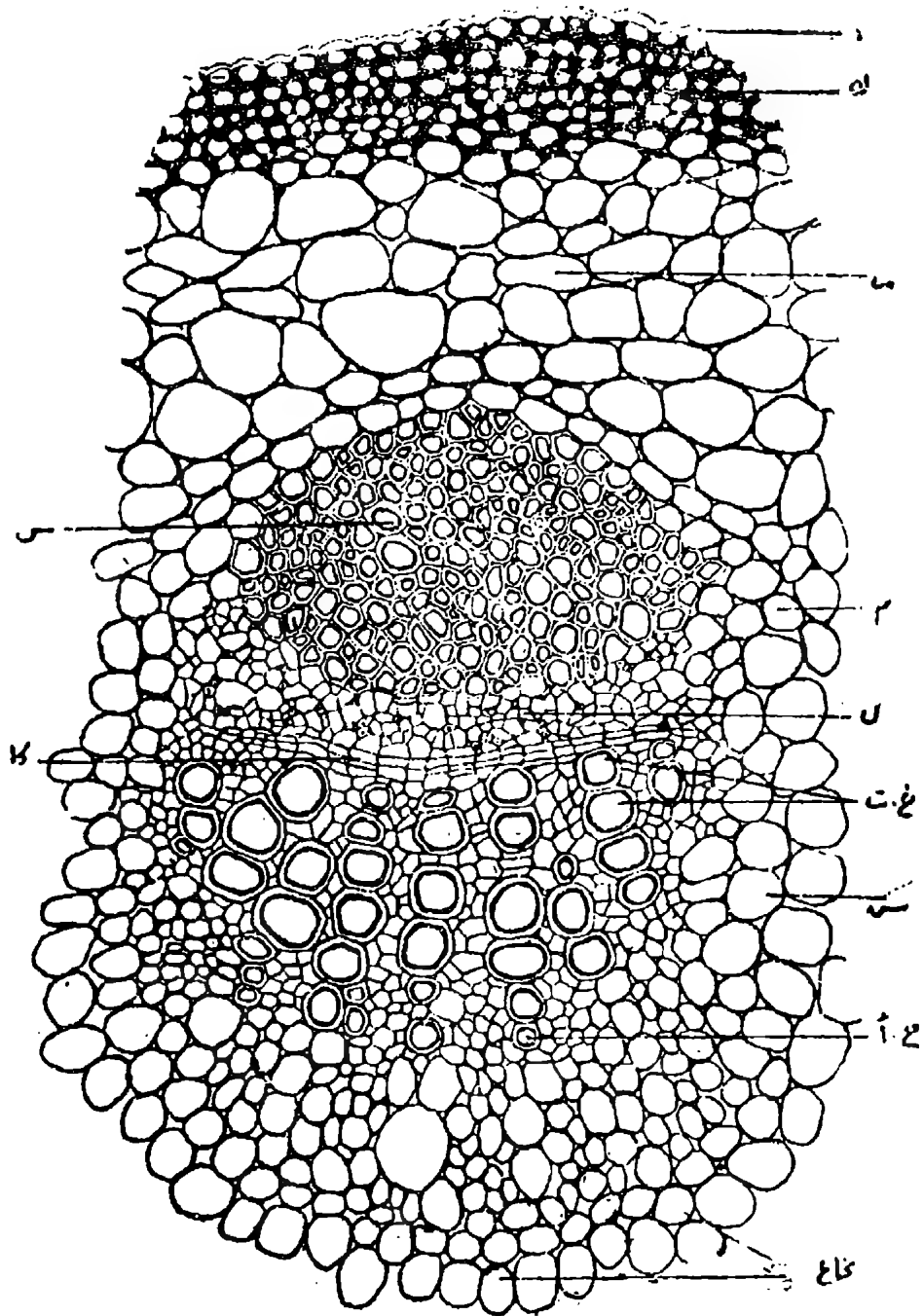


رسم تخطيطي لقطع مستعرض في ساق عباد الشمس بين : (ب) بشرة ، (ج) نسيج
كوانشيجي ، (ق . ر) قناة راننجية ، (بر) نسيج بارانشيمي (سكا-وم) ألياف الطبقة
المحيطة ، (بر . م) بارانشيما الطبقة المحيطة ، (ل) لحاء ، (كا) كامبيوم ، (خ.ت)
خشب نالي ، (ع . ا) خشب أول ، (ش) شعاع نخاعي ، وبرم النخاع في الوسط .

وإذا فحصنا القطاع المستعرض في ساق عباد الشمس بالقوة الكبيرة
للمجهر أمكن تبين التركيب التفصيلي الآتي (شكل ١٠٤) .

البشرة : يحد القطاع المستعرض من الخارج بطبقة واحدة من الخلايا ،
هي البشرة (Epidermis) . وهي تكون غلافا محكما يحيط بالساق .
لاتتخلله ثقب أو فراغات ، فيما عدا الثقب الثغرية ، ووظيفة هذا النسيج
الضام حماية الأنسجة الداخلية الرقيقة ، وتظل البشرة مغلفة للنبات فترة
طويلة ، لاتنفصل عنه إلا بعد تكون الفلين ، وتمتد بعض خلايا البشرة إلى

(شكل ١٠٥)



رسم تفصيلي لمزروع من قاطع مستعرض في ساق جذبة نبات عباد الشمس بين : (ا)
أدمة نفاذ الشعر ، (ك) خلايا كولانشيمية ، (ب) خلايا بارانشيمية ، (س) حزمة من الألياف
السكرانشيمية ، (م) خلايا بارانشيمية تحت أجزاء من المنطقة المحيطة بتبادل مع الحزم
السكرانشيمية ، (ن) خلايا كولانشيمية ، (خ) خشب نالي ، (ش) شمع نخاعي أصل ،
(ا) خشب فولد ، ويرى النخاع في الوسط .

الخارج ، مكونة تنوءات دقيقة مخروطية الشكل ، وهى الشعيرات السطحية وهى فى عباد الشمس شعيرات متعددة الخلايا ، وتغطى الأدمة السطح الخارجى للبشرة ، وتتكون من الكيوتين ، وهى مادة قليلة الإنفاذ للماء ، ولذلك يساعد وجودها على تقليل النتج من سطح النبات الغض .

القشرة : وهى تلى البشرة من الداخل ، وتغلف الأسطوانة الوعائية ، ويبلغ سمكها فى ساق عباد الشمس عدة طبقات من الخلايا ، أكثرها بارنشيمية وقليل منها كولنشيمية ، وتقع الأخيرة تحت البشرة مباشرة ، وهى تختلف من حيث كميتها وطريقة توزيعها فى سيقان النباتات المختلفة ، وجدرها المحيطية فى عباد الشمس أغلظ من الجدر القطرية .

وهناك تدرج واضح فى الانتفال من المنطقة الكولنشيمية بالجزء الخارجى من البشرة إلى المنطقة البارنشيمية فى الداخل ، يتمثل فى ازدياد حجم الخلايا الكولنشيمية بالتدرج ، وفى تناقص سمك جدرها وانتظامه ، وفى اضطراد الزيادة فى حجم المسافات البينية كلما اتجهنا إلى الداخل ، حتى يتحول النسيج الكولنشيمى كله إلى نسيج بارنشيمى . وتوجد بخلايا القشرة البارنشيمية - وخاصة الخارجية منها - بلاستيدات خضراء ، كما تنتشر بينها قنوات راتنجية (Resin ducts) .

وتتميز الطبقة الأخيرة من القشرة - وهى الملاصقة للأسطوانة الوعائية - باحتواء خلاياها على حبيبات نشوية صغيرة ، تصطبغ باللون الأزرق إذا عولج القطاع بمحلول يود مخفف ، وذلك تسمى هذه الطبقة بالغلاف النشوى (Starch sheath) ، وهى طبقة متموجة فى نبات عباد الشمس ، تكون أقواسا تحيط بالحزم الوعائية من الخارج ، والأغلفة النشوية كثيرة الانتشار فى سيقان النباتات العشبية من ذوات الفلقتين .

الأسطوانة الوعائية : تتكون الأسطوانة الوعائية (Vascular cylinder) من الحزم الوعائية وما يحيط بها من أنسجة أساسية ، وتسمى المنطقة الخارجية من تلك الأسطوانة بالمنطقة المحيطية أو البريسيكل (Pericycle) ، وهى فى

ساق عباد الشمس منطقة متعددة الطبقات ، تتركب من مجموعات من الألياف خارج الحزم الوعائية ، بينها خلايا بارنشيمية فوق الأشعة النخاعية . وفي نباتات أخرى - غير عباد الشمس - تتكون الطبقة المحيطة من خلايا بارنشيمية فقط ، في طبقة واحدة أو أكثر . وقد تتكون من عدة طبقات

أما الحزم الوعائية فقد سميت بهذا الاسم لأنها تحتوى على الأوعية والعناصر الأخرى التى تنقل العصارة ، وتتركب كل حزمة من لحاء وخشب ، بينهما طبقة من خلايا إنشائية تعرف بالكامبيوم (Cambium) ، ويسمى هذا النوع من الحزم « حزما مفتوحة » (Open hundles) ، وذلك لأن وجود الكامبيوم يسمح بالتغلط الثانوى وتكوين أنسجة وعائية ثانوية بين الخشب واللحاء الابتدائيين .

فالخزم فى ساق عباد الشمس هى إذن حزم جانبية ومفتوحة فى آن واحد وتلك صفة مميزة لسيقان ذوات الفلقتين . والخشب واللحاء فى حزم الساق الحديثة يمكن اعتبارهما من الأنسجة المستديمة الابتدائية ، لأنها يتكونان من الأنسجة الإنشائية الابتدائية الموجودة بالقمة النامية ، ولذلك يعرفان بالخشب واللحاء الابتدائيين .

ويتميز اللحاء الابتدائى بخلاياه ذات الجدر اللامعة وبمناصره ذات الأحجام المتباينة . فالأنابيب الغربالية تبدو كفجوات كبيرة فارغة ، تجاورها خلاياها المرافقة الصغيرة المملوءة بالمحتويات الحية الكثيفة . وتحتوى الأنابيب الغربالية فى بعض أجزائها على حواجز (أو صفائح) غربالية (Sieve plates) وقد يمر القطع بواحد أو أكثر من هذه الحواجز فتبدو مستديرة ذات ثقب كثقوب الغربال ، وتختلط بهذه العناصر خلايا بارنشيمية حية رقيقة الجدر .

والكامبيوم هو البقية الباقية من منشئ الأسطوانة الوعائية ، تخلفت بعد تحول بقية أجزائه إلى أنسجة مستديمة ، وهو يبدو واضحاً كطبقة واحدة أو عدة طبقات من خلايا مفلطحة رقيقة الجدر ، وخاصة عندما يبدأ نشاطه لتكوين خشب ولحاء ثانويين فى الأجزاء الأكبر سناً من محور الساق .

أما الخشب الابتدائي فيتكون من صفوف قطرية من الأوعية ، تفصلها صفوف قطرية من خلايا بارنشيمية صغيرة ، وأوسع الأوعية هي أقربها إلى الكامبيوم وأضيقتها هي أقربها إلى المركز . ويعرف الجزء الداخلى من الخشب الابتدائي بالخشب الأول (Protoxylem) ، ولذلك توصف الخزم بأنها داخلية الخشب الأول (Endarch) . أما الخارجى فيعرف بالخشب التالى (Metaxylem) ويحتوى الأوعية الواسعة ، وهي في العادة أوعية منقرة أو شبكية . ويوجد به أيضاً قليل من الألياف والخلايا البارنشيمية الملجننة . أما أوعية الخشب الأول فهي في الغالب أوعية حلقية أو حلزونية .

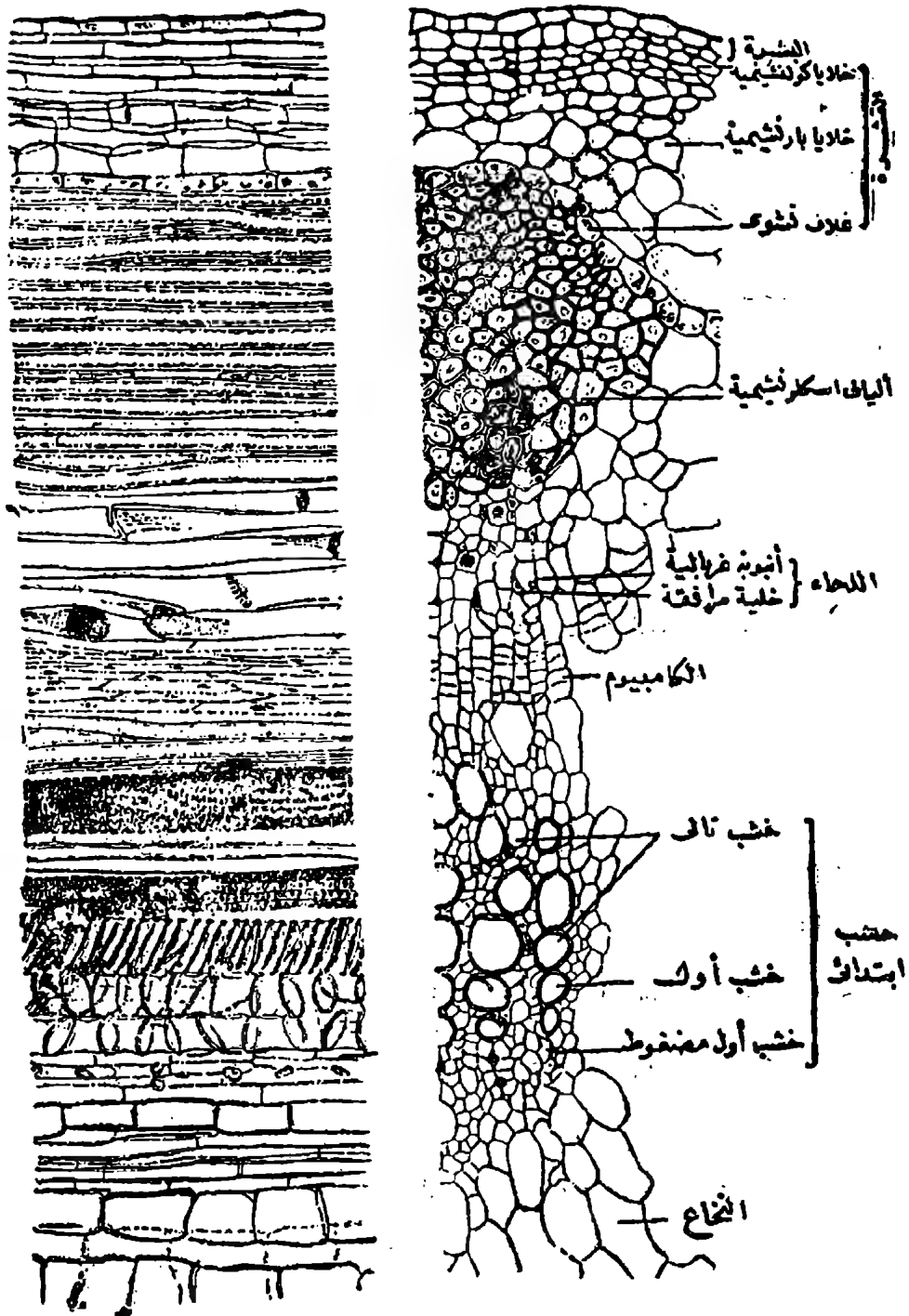
ويشمل النخاع الجزء المركزى من الساق ، وهو المنطقة الواسعة التى تلى الخزم الوعائية من الداخل ، ويمثل في الساق منطقة واسعة إذا قيست بمنطقة القشرة الضيقة ، ويتكون النخاع من خلايا بارنشيمية كبيرة ، بينها مسافات ضيقة مثلثة الشكل ، وفي بعض السيقان العشبية - كسيقان الفول والبرسيم - يوجد تجويف في وسط الساق ، يحل محل الجزء المركزى من النخاع . ويتمثل الأخير في تلك الحالة بطبقات قليلة من الخلايا البارنشيمية تلى الخزم الوعائية من الداخل ، وتكون الساق جوفاء لامصمتة .

أما الأشعة النخاعية في السيقان الحديثة فتعرف بالأشعة النخاعية الأصلية (Original medullary rays) ، وهي تتكون من خلايا بارنشيمية رقيقة الجدر ، ممتدة بين الخزم في اتجاه قطرى ، وتصل ما بين القشرة والنخاع .

(وصف قطاع طولى في ساق عباد الشمس الحديثة)

لا بد لاستكمال دراسة التركيب التشريحي للساق الحديثة من فحص قطاع طولى قطرى في ساق عباد الشمس ، يمر بإحدى الخزم الوعائية (شكل ١٠٦) يلاحظ في ذلك القطاع نفس التعاقب الموجود في القطاع المستعرض ، ففي الخارج توجد البشرة بخلاياها التصيرية ، تلوها طبقات الخلايا الكولنشيمية التى يبلغ طولها عدة أضعاف عرضها ، وتتغلظ جدرانها الرأسية تغلظاً ملحوظاً أما الخلايا البارنشيمية التى تشغل الجزء الداخلى من القشرة فهي مستطيلة رقيقة

(شكل ١٠٦)



مراقب عباد الشمس ، ويرى إلى اليمين قطاع مستعرض ، وإلى اليسار قطاع طولاني قطري
و يضم بمحقق المقابلة بين أنسجته المختلفة والأنسجة المماثلة في القطاع المستعرض (عن بريستلي
وسكوت)

الجدر ، ولكنها أقصر وأوسع من الخلايا الكولنشيكية ، ويتميز الغلاف النشوى باحتوائه على حبيبات نشوية صغيرة ، أما ألياف المنطقة المحيطة فيسهل تمييزها بضيق تجويفها وتغلظ جدرانها وتدبب أطرافها .

ويتميز اللحم بأنابيبه الغربالية الطويلة الفارغة ، وخلاياه المرافقة الممتلئة الضيقة وبالحواجز الغربالية المائلة ، التي تقطع الأنابيب الغربالية على أبعاد منتظمة .

ويستدل على الكامبيوم بخلاياه الحية المستطيلة المنضغطة ، ذات الجدر الرقيقة والأنوية الكبيرة الواضحة .

وفي الخشب التالى يسهل ملاحظة التغلظ الشبكي في بعض الأوعية والنقر في بعضها الآخر . أما أوعية الخشب الأول فتبدو أضيق كثيراً من أوعية الخشب التالى ، كما يبدو تغلظ الداخلية منها حلقياً ، وتغلظ التالية لها حلزونياً ، وترى بين أوعية الخشب أحياناً خلايا ضيقة مستطيلة ، هي بارنشيمة الخشب .

ساق القرع :

لسيقان القرع واللوف وما شابههما أهمية تشريحية خاصة ، نظراً لكونها مضلعة المحيط وليست مستديرة كعباد الشمس ، مما يستلزم توزيعاً خاصاً للأنسجة الدعامية . ولكونها مجوفة وليست مصمتة ، تحل بها فجوة واسعة محل الجزء المركزى من النخاع ، والنخاع الأجوف ظاهرة واسعة الانتشار بين السيقان العشبية في الفصيلتين النجيلية والقرعية وغيرهما ، ويعزى تكون التجويف المركزى في هذه السيقان إلى توقف نمو خلايا النخاع وتمزقها بعد أن يجاوز حجمها حداً معيناً .

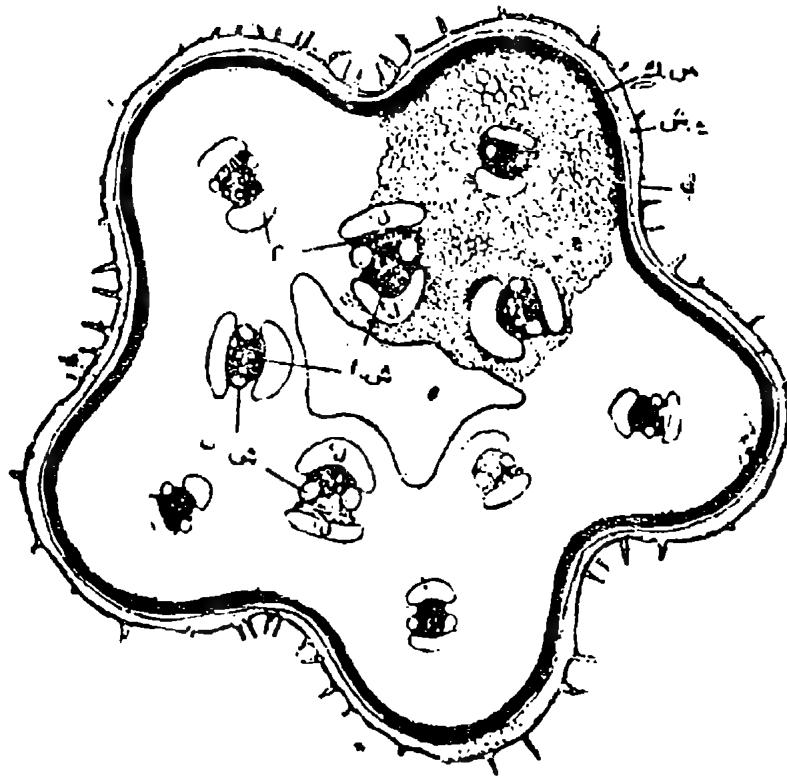
ويغطى سطح البشرة بكثافة في ساق القرع بشعيرات عديدة الخلايا ، تمثل نتوءات من سطح البشرة ، كما توجد في أركان الساق تحت البشرة قطع من نسيج دعائى كولنشى ، سمكة في الوسط وترق تدريجياً على

الجانبين . وتبادل مع هذه الأنسجة الكولانشيمية أنسجة أخرى كلورنشيمية تقع تحت البشرة في المنخفضات التي بين الأركان البارزة ، وتمتلئ خلاياها بالبلاستيدات الخضراء ، كما توجد الثغور في أجزاء البشرة التي فوقها ، فيساعدونها كل ذلك على القيام بدور فعال في وظيفة البناء الضوئي . وتلي الطبقات الكلورنشيمية والكولانشيمية بالقشرة طبقات قليلة من الخلايا البارنشيمية . تتألف من الداخل طبقة الغلاف النشوي وتقع خارج الأسطوانة الوعائية حلقة من الألياف (س . ك . شكل ١٠٧) . سمكها عدة طبقات . تمثل مع الطبقات البارنشيمية التي تليها من الداخل المنطقة المحيطة .

وتختلف سيقان اللوف والقرع كثيراً عن ساق عباد الشمس في تركيب الحزم الوعائية وتوزيعها داخل الساق . وهناك حلقتان من الحزم (شكل ١٠٧) الداخلية منها أكبر من الخارجية ومتبادلة معها . وعدد الحزم في كل حلقة محدود ، وهو أقل منها في ساق عباد الشمس ، وهناك لحاءان في كل حزمة لحاء خارجي (١ ل) ولحاء داخلي (٢ ل) كما هو مبين في (شكل ١٠٧) . ويفصل الكامبيوم اللحاء الخارجي عن الخشب التالي ، أي أن الحزم هنا مفتوحة . أما اللحاء الداخلي فتفصله عن الخشب الأول خلايا بارنشيمية عادية . ويعرف هذا النوع من الحزم بالحزم ذات الجانبين (Bicollateral bundles) ، وهي منتشرة في بعض فصائل النباتات الزهرية كالفصليتين القرعية والباذنجانية ، وتختلف اختلافاً كبيراً عن الحزم الجانبية العادية . وعناصر الخشب واللحاء كبيرة الدرجة غير عادية في الحزم ذات الجانبين ففي اللحاء تبدو الأنابيب الغربالية أوسع من الحجم المعتاد ، كما تبدو جدرانها مغلفة ببعض الشيء . وتظهر بالقطاع المستعرض أيضاً بعض حواجز غربالية كبيرة مستديرة ، تتميز بشكلها المنقط . وترى بجوار كل أنبوبة غربالية خلية مرافقة أو أكثر ، مثلثة الشكل غالباً . أما خلايا بارنشيمية اللحاء فوسط في حجمها بين الأنابيب الغربالية والخلايا المرافقة ، ولكن جدرانها غير

مغلظة كجدر الأنابيب الغربالية ، ولا تحتوى مثل ما تحتويه الخلايا المرافقة من مواد حية غزيرة . واللحاء في جزأيه الخارجى والداخلى متماثل التركيب . وفى منطقة الخشب يمكن تمييز أوعية الخشب الأول الضيقة فى الناحية الداخلية وأوعية الخشب التالى الواسعة فى الناحية الخارجية ، وتختلط الأوعية بالكثير من الخلايا البارنشيمية ، ويمثل الخشبان الأول والتالى جزأى الخشب الابتدائى .

(شكل ١٠٧)



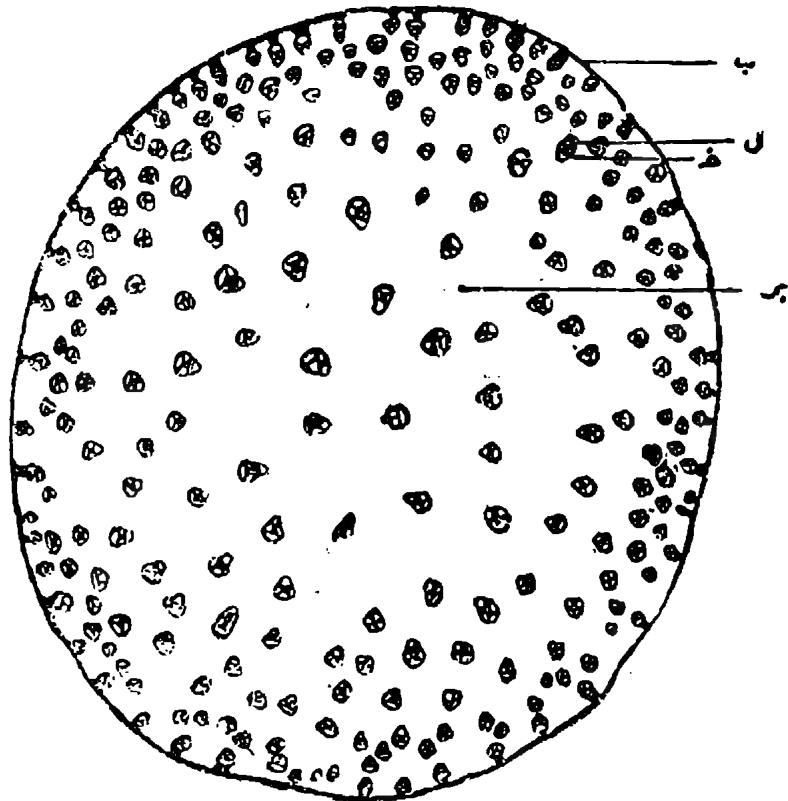
رسم توضيحي لقطاع منسحق من نى ساق القمح . (ب) البصرة ، (م . ك) منطقة
من الخلايا ميكرواثرية ، (ش . ث) خشب نالى ، (ك . ش) خلايا كولنشيمية ، (ل . ا)
خارجى . (ل . هـ) داءى ، (م) كالميوم (عن فرنش وساليمورى)

ساق ذوات الفلقة الواحدة

ساق الذرة :

إذا فحصنا قطاعاً مستعرضاً في ساق الذرة ألفيناه يحتوى على عدد كبير من الحزم الوعائية : مبعثرة في النسيج الأساسى جميعه (شكل ١٠٨) ، ولا يتميز النسيج الأساسى إلى قشرة ونخاع - كما فى ذوات الفلقتين - كما أنه لا توجد أسطوانة وعائية تقابل تلك التى بسيقان النباتات الأخيرة . والنسيج الأساسى مكون كله من خلايا بارنشيمية فيما عدا طبقة واحدة أو طبقات قليلة من الألياف تقع تحت البشرة . والبشرة هنا - كما فى ذوات الفلقتين - تتكون من طبقة واحدة من الخلايا تغلف الساق ، وتدخلها ثغور فى أجزاء الساق القريبة من القمة النامية ، وتبرز منها شعيرات وحيدة الخلية ، تمثل امتدادات خلايا البشرة .

(شكل ١٠٨)



رسم تخطيطى يمثل توزيع الحزم الوعائية والأنسجة المختلفة و قطاع مستعرض لساق الذرة ، ونرى به : (ب) البشرة ، (ل) لحاء (خ) خشب ، (بر) بارنشيمية النسيج الأساسى

الخشب إلى الداخل . واللحاء يفيض الشكل أو مستدير في القطاع المستعرض غائر قليلاً بين أوعية الخشب التالى ، وخال خلواً تماماً من الخلايا البارنشيمية فهو يتركب من أنابيب غربالية وخلايا مرافقة فقط ، ولذلك يبدو منتظم الشكل (شكل ١٠٩) . وجدر العناصر اللحائية لامعة رقيقة ، وتبدو الأنابيب الغربالية فارغة جوفاء ، أما الخلايا المرافقة فتبدو ممثلة بالمحتويات الحية .

ويحتوى الخشب على عدد قليل من الأوعية ، مرتبة على شكل حرف « V » ، ويمثل الخشب التالى فى كل حزمة وعاءان كبيران من الأوعية المنقورة ، يشغلان ذراعى الحرف « V » ، ويستقر بينهما عدد قليل من القصبيات . أما الخشب الأول فتمثله أوعية قليلة من النوع الحلقى أو الحازونى تليها إلى الداخل فجوة كبيرة غير منتظمة (ف ، شكل ١٠٩) تقع مع أوعية الخشب الأول على نصف قطر واحد ، وتمثل هذه الفجوة بعض أوعية الخشب الأول ، وقد تمزقت نتيجة الشد الواقع عليها بسبب استطالة الساق بسرعة فى أدوار النمو الأولى . ويحيط بأوعية الخشب الأول عدد قليل من الخلايا البارنشيمية الصغيرة ، ويمكن أحياناً تمييز بقايا جدر الوعاء الأول الممزقة داخل الفجوة الهوائية الواقعة عند الطرف الداخلى للخشب الابتدائى .

ويغلف كل حزمة من جميع جهاتها غمد من الألياف ، سمكه طبقتان أو ثلاث ، وتتصل أغماد الحزم الخارجية بألياف النسيج الأساسى الواقعة تحت البشرة .

الباب العاشر

التركيب الداخلى للجذور الحديثة

يمكن دراسة التركيب الداخلى لجذور النباتات الزهرية فى قطاعات مستعرضة ، حيث يلاحظ وجود المناطق الآتية قرب أطراف الجذور :

١ - الطبقة الوبرية (Piliferous layer) : وهى طبقة واحدة من خلايا رقيقة الجدر ، تغلف الجذر الحديث ، وتحمل شعيرات أنبوبية فى منطقة الامتصاص ، هى الشعيرات الجذرية .

٢ - القشرة : وهى منطقة واسعة من خلايا بارنشيمية ، تحدد من الداخل بالبشرة الداخلية (Endodermis) .

٣ - الاسطوانة الوعائية : وهى مغلفة من الخارج بالطبقة المحيطية ، وتتكون من عدد من الأذرع الخشبية (Xylem archs) متبادلة الوضع مع مجموعات من اللحاء ، وتوجد عادة فى مركز الاسطوانة الوعائية منطقة صغيرة من خلايا بارنشيمية تمثل النخاع .

وسنتحدث بشئ من التفصيل عن كل منطقة من هذه المناطق الثلاث :

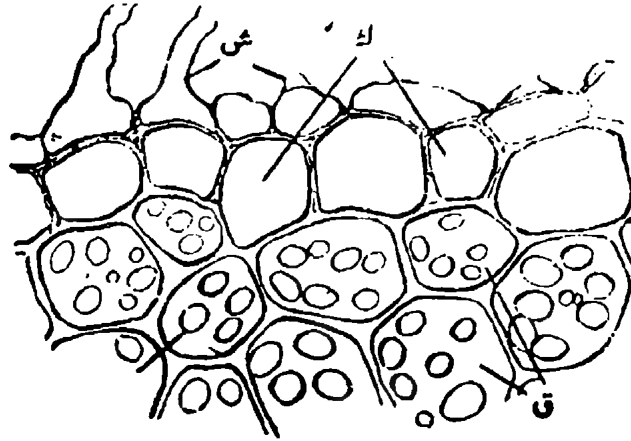
الطبقة الوبرية :

تقابل الطبقة الوبرية فى الجذور طبقة البشرة فى السيقان ، وتبدو تحت المجهر متمزقة الخلايا ومتقلصة ، وتمتد بعض خلاياها إلى الخارج مكونة شعيرات جذرية ، وتنحل هذه الطبقة وتذوى شعيراتها خلف منطقة الإمتصاص (شكل ١١٠) ، ولذلك لا يمكن تمييزها بوضوح إلا فى القطاعات القريبة من القمة النامية .

أما الشعيرات الجذرية فتخرج كل واحدة من إحدى خلايا الطبقة الوبرية ، وتبدو كامتدادات أنبوبية غير متفرعة لتلك الخلايا ، وتنتهى

بقمة مستديرة ، وللشعيرة فجوة واسعة ، تشغل معظم فراغها الداخلى ، وتتصل بفجوة الخلية البشرية التى خرجت منها . وتمتلئ هذه الفجوة بالعصير الخلوى ، بينما يقتصر السيتوبلازم على طبقة رقيقة مبطنة للجدار من الداخل تنغمس فيها النواة .

(شكل ١١٤)



ذبول الطبقة الوبرية وظهور البشرة الخارجية فى جدر نبات الشقيق المسد
(Ranunculus repens) : (ش) شعيرات جذرية ، (ق) خلايا القشرة ، (ك) البشرة
الخارجية (عن فرنش وسالبورى) .

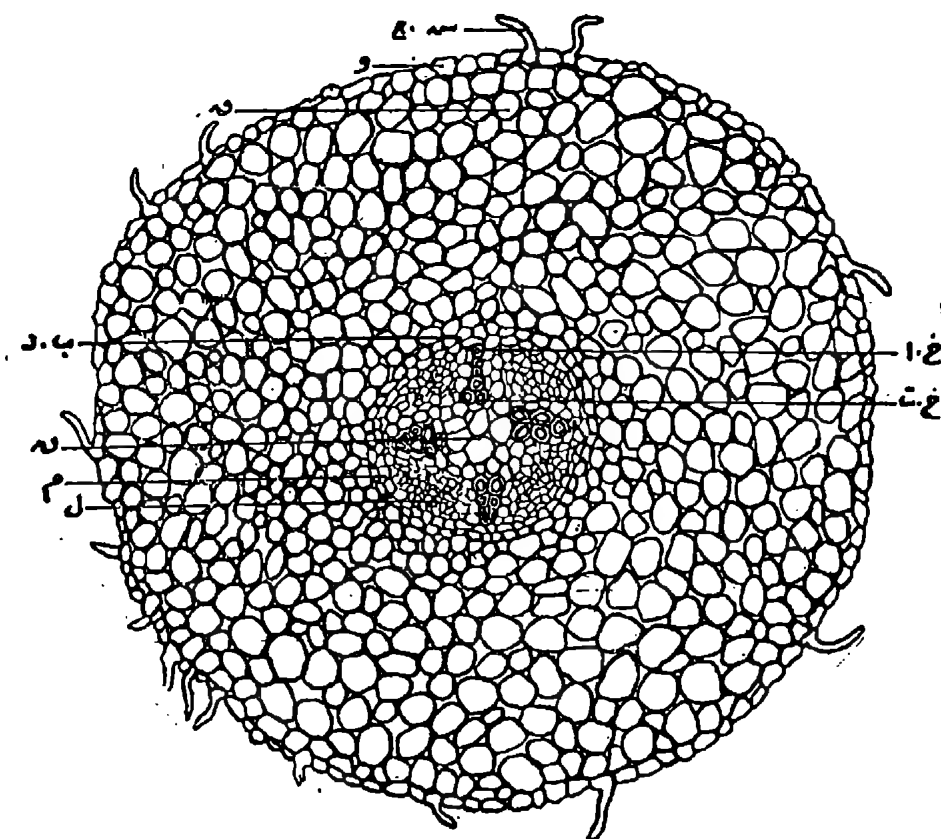
وتتميز نحت الطبقة الوبرية - فى أجزاء الجذر الواقعة خلف منطقة الامتصاص والتى تنقلص فيها الطبقة الوبرية وتنحل - منطقة أخرى تحل محلها فى حماية الأنسجة الداخلية ، وتمثل الطبقة الخارجية لمنطقة القشرة ، وتعرف بالبشرة الخارجية أو الإكسودرم (Exodermis) ، وتكون خلاياها فى العادة أصغر حجماً من بقية خلايا القشرة . وتتميز طبقة البشرة الخارجية بلون جدرها البنى الداكن ، ويتغلظ هذه الجدر تغلظاً طفيفاً ، وهى جدر مسوبرة (Suberized) ، والتسوبر نوع من التغير الكيميائى ، من شأنه أن يجعل الجدر غير نفاذ للماء ، ولذلك لا يحدث هذا التغير إلا بعد أن تنوى الشعيرات الجذرية ، أى خلف منطقة الإمتصاص ، وبذلك لا يحول حائل دون نفاذ الماء الذى تمتصه الشعيرات إلى الداخل ووصوله إلى الأسطوانة الوعائية . ومع ذلك ففى بعض الأحيان - وخاصة فى ذوات الفلقة الواحدة

حيث تتكون البشرة الخارجية في طور مبكر - تتخلل خلايا هذه البشرة على مسافات منتظمة خلايا مرور (Passage cells) بارنشيمية رقيقة الجدر ، يمر خلالها الماء إلى الداخل .

القشرة :

القشرة في الجذور الحديثة منطقة واسعة من خلايا بارنشيمية رقيقة الجدر ، تكثر فيها الفراغات البينية ، مكونة جهازا متصلا يسمح بتبادل الغازات مع الأعضاء الهوائية للنبات ، وتنتهى القشرة من الداخل بطبقة تعرف بالبشرة الداخلية أو الإندوديرم (Endodermis) ، خلاياها مترابطة وليس بينها فراغات ، وتكون غلافا محكما حول الأسطوانة الوعائية (ب.د) ،

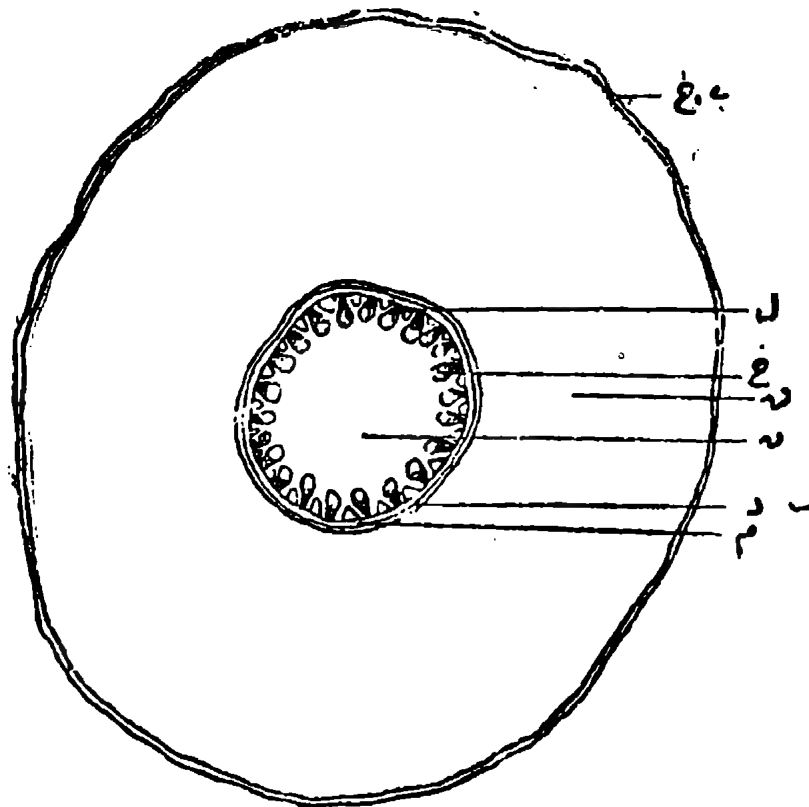
(شکل ۱۱۱)



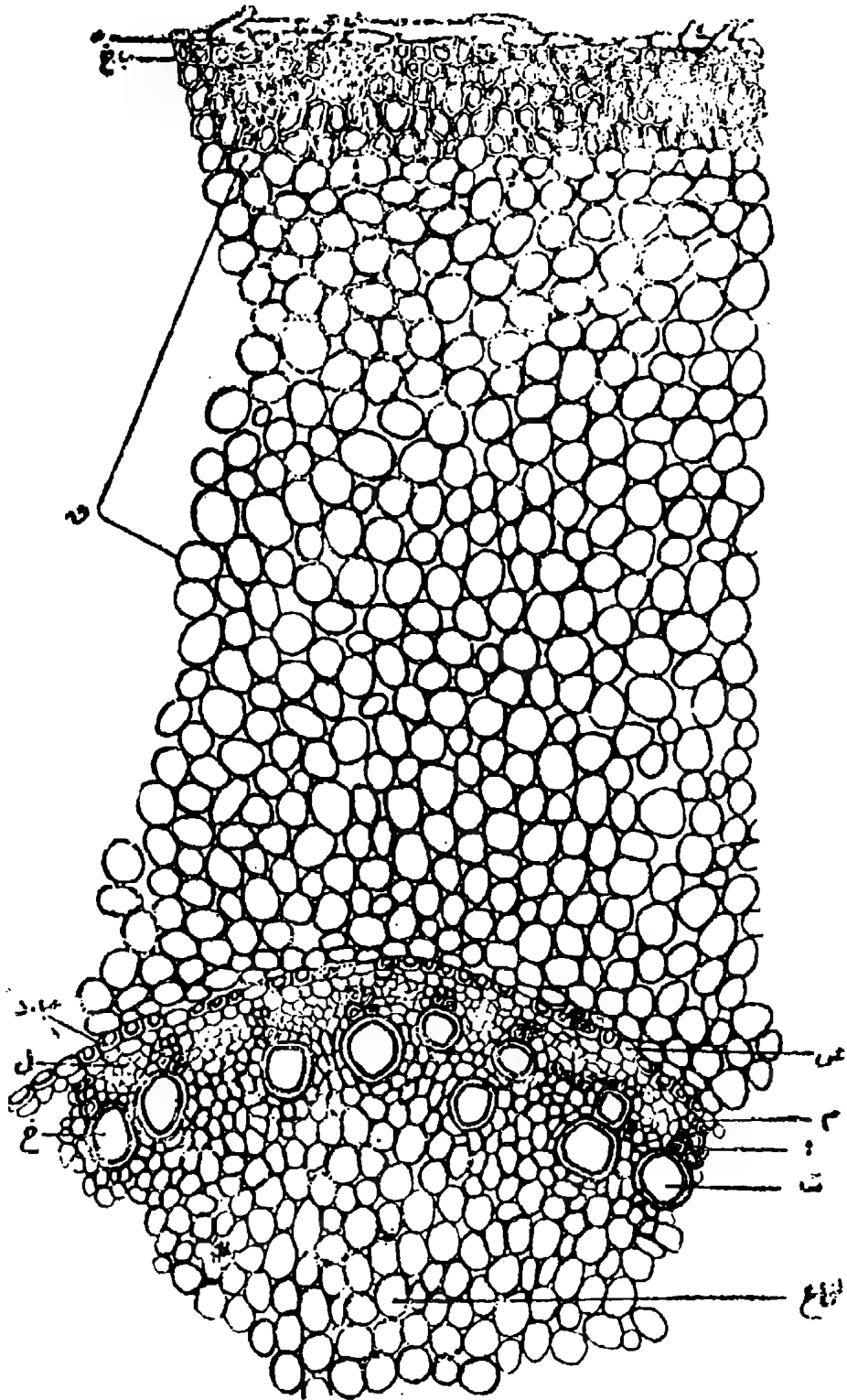
رسم تفصيل لقطاع مستعرض في جذر حديث لبنات القول مبينا من الخارج الداخل :
(ش.ج) شعبة جذرية ، (و) طبقة وبرية ، (ق) قشرة ، (ب.د) بشرة داخلية ،
(خ.أ) خشب أول ، (خ.ث) خشب ثالي ، (م) طبقة عيطية ، (ل) لحاء ، (ن) نخاع .

أشكال ١١١ - ١١٤) : وترسب على الجدر القطرية لخلايا هذه الطبقة مادة تشبه السوبرين ، تكون شريطا يحيط بوسط الخلية ، ويعرف بشرط كاسبار (Casparian strip) . وفي جذور ذوات الفلقة الواحدة - كجذر السوسن الأصفر (Hemerocallis) شكلا ١١٣ - ١١٤ - ولا يقتصر التغلظ في خلايا البشرة الداخلية على شريط كاسبار وحده ، بل يتجاوزه إلى جميع جدر الخلايا في تلك الطبقة ، فيما عدا الجدر المحيطية الخارجية ، إذ تتغلظ هذه الجدر بطبقة سميكة من الكيوتين أو السوبرين ، تضيفى عليها صلابة وقوة . وتمكنها من القيام بدور فعال في تقوية الجدر وتدعيمه . وتبدو طبقة البشرة الداخلية متميزة وواضحة غاية الوضوح في القطاع المستعرض (شكل ١١٤) . ولما كانت مادة التغلظ غير نفاذة ، فإن البشرة الداخلية

(شكل ١١٢)



رسم تخطيطى لقطاع مستعرض لجذر من جذور السوسن الأصفر يبين . (ب . خ) بشرة خارجية ، (ل) ماء ، (خ) خشب ، (ن) نسيج ، (د . ب) بشرة داخلية ، (م) طبقة محيطية .



رسم تفصيل لجزء من اطراف مستعرض في جذور نبات الوسن الأصفر بين : (ش. ج)
 شعيرات جذرية ، (و) طبقة ويرية ، (ب خ) بشرة خارجية ، (ق) قشرة ، (ب. د)
 بشرة داخلية ، (س) خلية مرور ، (م) طبقة محيطية ، (ل) ماء ، (خ) خشب ، (ا)
 خشب أول ، (ن) خشب نالي ، ويرى النخاع في الوسط .

تمنع وصول الماء والعصارة النينة إلى الأسطوانة الوعائية ، لولا بقاء خلاياها المقابلة للخشب الأول رقيقة الجدر غير مغلظة ، وبذلك تسمح بمرور الماء إلى الداخل ، وتعرف هذه الخلايا الرقيقة بخلايا المرور (Passage cells) .

الأسطوانة الوعائية :

تبدأ الأسطوانة الوعائية بالطبقة المحيطة ، وهي طبقة واحدة من خلايا بارنشيمية تقع خارج الحزم الوعائية مباشرة . والحزم الوعائية في جذور ذوات الفلقتين قليلة العدد ، تتراوح في الغالب بين حزمتين وثمان حزم ، وهي في جذر الفول (شكل ١١١) أربع غالباً ، ويختلف عددها في الأنواع المختلفة من النباتات . ولا يقع الخشب واللحاء الابتدائيان على نصف قطر واحد في الساق بل يقعان على أنصاف أقطار متبادلة ، وذلك يعرف هذا الترتيب بالترتيب القطري (Radial arrangement) . واللحاء هنا يبيض الشكل أو مستدير . ويتركب كما في الساق من أنابيب غربالية وخلايا مرافقة ومن بعض خلايا بارنشيمية أيضاً . أما الخشب فيتركب من أوعية مضلعة متلاصقة ، أصغرهما - وهي المجاورة للطبقة المحيطة - تمثل الخشب الأول ، والكبيرة وهي الأقرب إلى المركز تمثل الخشب التالي ، وبذلك تكون الحزم الوعائية في الجذور خارجية الخشب الأول (Exarch) . وأحيانا - كما في بعض ذوات الفلقتين - يلتقي الخشب التالي لجميع الحزم ويلتحم في مركز الجدر ، فلا يدع مكانا للنخاع (شكل ١١١) . أما في جذور ذوات الفلقة الواحدة فيظل الخشب التالي عادة منفصلا ومتباعدة لا يلتقي في المركز ، وبذلك تتخلف في وسط الجدر منطقة نخاع ضيقة من خلايا بارنشيمية مستديرة .

وتختلف جذور ذوات الفلقة الواحدة عن جذور ذوات الفلقتين في كثرة الحزم الوعائية بالأولى ، مع قلة الأوعية في كل حزمة . فإذا فحصنا قطاعا مستعرضا في جذر نبات السوسن الأصفر (Hemerocallis) شكل ١١٢ . وجدنا الأذرع الخشبية يتكون كل منها من وعاء واسع متميز ناحية النخاع - يمثل الخشب التالي - ومن وعاء آخر أو وعاءين صغيرين ناحية الطبقة المحيطة ، يمثلان الخشب الأول .

والنخاع - كما قدمنا - موجود في جذور معظم النباتات ذوات الفلقة الواحدة ، وقد تتلجنن خلاياه في بعضها - كما في جذور البلح - لتكون نسيجاً دعامياً في مركز الجذر .

وتقوم الأسطوانة الوعائية في الجذر - عدا قيامها بنقل العصارة النبتة في أوعية الخشب وقصبياته من أسفل إلى أعلى لتوزيعها على سائر أجزاء النبات - بتدعيم الجذر وتقويته لكثرة ما بها من عناصر ملجننة ، فهي تحميه من التقطع بقوة الشد التي يتعرض لها عادة . ولا يوجد في معظم الجذور نسيج دعامى سوى الخشب ، يضاف إليه النخاع في الحالات التي تنغلظ فيها جدر خلاياه على أنه في بعض نباتات الفصيلة القرنية - كالبسلة والفلو وغيرهما - توجد باللحاء مجموعات من الألياف ، تقوم بنصيب من التقوية والتدعيم .

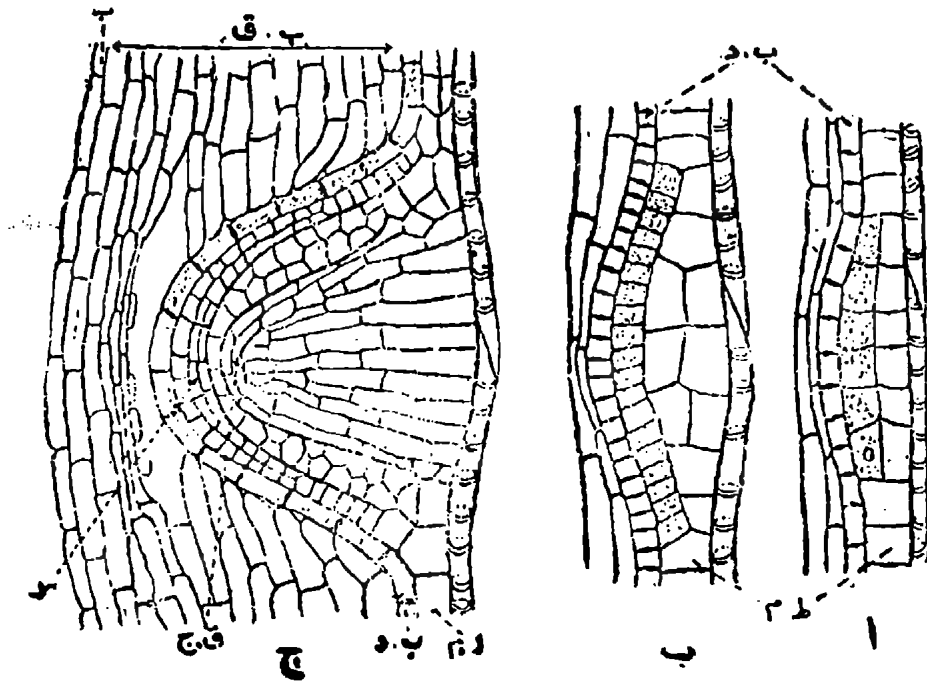
تكوين الجذور الجانبية

الجذور الجانبية ذوات أصل داخلى (Endogenous) ، لأنها تخرج من الأسطوانة الوعائية ، إذ تنقسم خلايا الطبقة المحيطة - إما مقابل الخشب الأول أو بينه وبين اللحاء - وبذلك ترتب الجذور الجانبية في صفوف مساوية في العدد للأذرع الخشبية أو ضعف عددها . وهذا الترتيب واضح بصفة خاصة في ذوات الفلقتين . أما في ذوات الفلقة الواحدة فإنه أقل وضوحاً لكثرة ما بها من حزم .

وتشق الخلايا المنقسمة المتزايدة طريقها في القشرة ، حتى إذا قاربت سطح الجذر كانت القلنسوة قد اكتملت تكوينها (س ، شكل ١١٤ : ج) ، كما أن النسيج الإنشائي الأول بالقمة النامية للجذر الناشئ يكون قد تم تشكله إلى منشآت البشرة والقشرة والأسطوانة الوعائية . ويبدو أن اختراق الجذور الجانبية للقشرة يحدث بقوة آلية بحثة ، وإن كان هناك من يعتقد أن الجذر النامي يفرز من الإنزيمات ما يذيب خلايا القشرة التي تعترض طريقه ويضمها وبذلك يفسح لنفسه طريقاً إلى الخارج .

هذا الأصل الداخلى للجذور الجانبية يميز الجذر عن الساق ، لأن فروع السيقان خارجية الأصل (Endogenous) ، إذ تخرج من الطبقات السطحية . ويعزى الأصل الداخلى للجذر إلى حاجته للتغلب على ما تبديه التربة من مقاومة لاختراقه إياها ، وخاصة في صغره ، حيث تكون الأنسجة الإنشائية لينة .

(شكل ١١٤)



(١ - ج) الأطوار المختلفة لتكوين الجذر الجانبي ، (ب) الطبقة الخارجية ، (ب . د) بقعة داخلية ، (ب . ب) بارانشيم القشرة ، (م) الفانوس ، (ف . ج) القبة النامية للجذر ، (ط . م) الطبقة المحيطة (عن هولمان) .

الباب الحادى عشر

التركيب الداخلى للورقة

تظهر أصول الأوراق كتنوءات جانبية صغيرة قرب القمة النامية للساق ، خلاياها إنشائية متشابهة ، لا تميز بينها فى الشكل ولا فى الوظيفة ، وتكبر هذه التنوءات بالتدرج نتيجة لانقسام الخلايا الإنشائية وازدياد الخلايا الجديدة فى الحجم ، كما تأخذ الأنسجة الإنشائية فى التحول تدريجياً إلى الأنسجة المستديمة التى تتكون منها الأوراق البالغة .

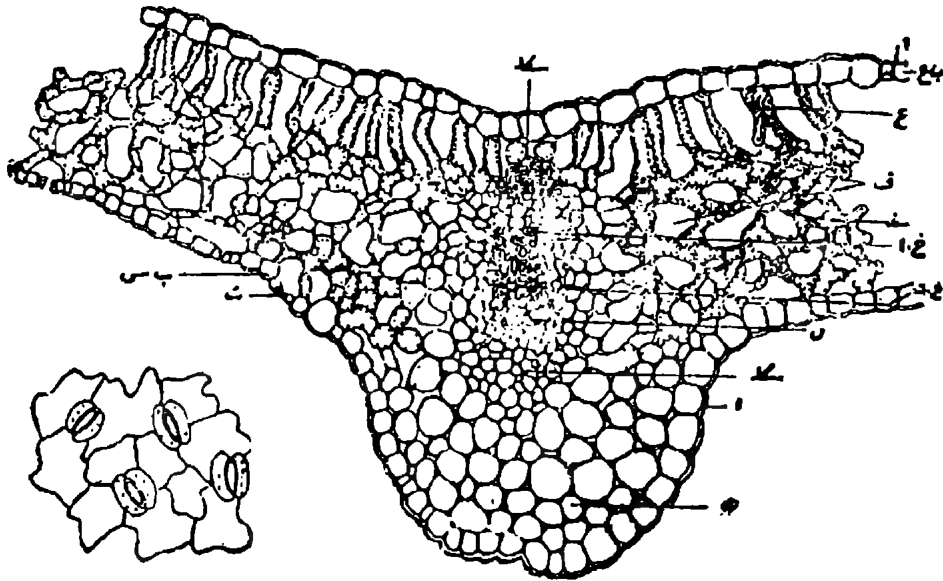
والورقة عضو مفلطح ، يتركب من نفس أنواع الحاميع النسيجية التى تتركب منها الساق ، وهى مجاميع الأنسجة الضامة والأساسية والوعائية . وتقع الحزم الوعائية فى الورقة على امتداد حزم الساق ، كما يقع المجموع النسيجى الضام على امتداد نظيره فى الساق .

ويمكن دراسة التركيب الداخلى للورقة فى قطاع مستعرض فى طريقة القول يمر بالعرق الوسطى والعروق الجانبية (شكل ١١٥) . يلاحظ فى ذلك القطاع أن العرق الوسطى يبرز قليلا على السطح الأسفل للورقة ويقابل هذا البروز تقعر طفيف على السطح العلوى . وتنتشر الحزم الوعائية - التى تمثل العروق الجانبية - داخل النسيج الأساسى للورقة فيما بين العرق الوسطى وحافة النصل من الناحيتين ، وهذه الحزم أصغر وأقل وضوحاً من الحزمة الكبرى التى بداخل العرق الوسطى .

ويمكن تمييز الأجزاء الآتية فى القطاع المستعرض (شكل ١١٥) :

البشرة :

تغلف الورقة من أعلى ومن أسفل بشرة مكونة من طبقة واحدة من خلايا مئاسكة ، جدرها الخارجية مغلفة بطبقة من الكيوتين ، متصلة فى



وريفة الفول ، ويرى إلى اليمين قطاع من مرض فيها ، وإلى اليسار جزء من البشرة السفلى في منظر سطحي ليعين طريقة توزيع الثغور . وفي القطاع المستعرض يمكن تمييز : (أ) أدمة . (ب . ج) بشرة عليا ، (ح) خلايا عمادية ، (د) خلايا سكر شجيرة ، (هـ) مسافات بيضية واسعة ، (و) خلايا إسفنجية ، (ز . ح) خشب أول ، (ط . ي) خشب نال ، (جـ) لحاء ، (ك) خلايا كوانشجيرة ، (ب . س) بشرة سفلى ، (ث) ثقب .

جميع الخلايا ، ومكونة أديما على سطح الورقة يعرف بالأدمة (Cuticle) ويختلف سمك الأدمة في نباتات البيئات المختلفة ، فهي أغلظ في نباتات البيئات الجافة منها في نباتات البيئات الرطبة ، كما أنها أغلظ على السطح العلوي للورقة منها على السطح السفلي . والبشرة وأدمتها تؤديان وظيفة الوقاية للأنسجة الداخلية ، إذ تحميها من العوامل الضارة ، ومن بينها فقد الماء بالتبخر من خلايا النسيج الأساسي . ودور الأدمة في هذه الوظيفة على جانب كبير من الأهمية ، وذلك لأنها تكاد تكون غير منفذة لبخار الماء ، ويزداد عدم إنفاذها لبخار بازدياد السمك ، فهي لذلك تحول دون فقد الماء بالتبخر من سطوح الأوراق . ولا توجد بطبقة البشرة مسافات بينية ، وذلك مما يزيد إحكام تغليفها للأنسجة الداخلية ، كما يزيد كفايتها لوقاية هذه الأنسجة من الجفاف وفقد الماء . وفي بعض النباتات - كالنجيليات - ترسب مادة السيليكا في جدار خلايا البشرة .

ولما كانت الأوراق الخضراء تؤدي للنبات وظائف هامة ، هي البناء الضوئي والتنفس ، وكلها وظائف تنطوي على تبادل الغازات بين الهواء الجوي والأنسجة الداخلية ، فإن ثقباً تنتشر بغزارة في طبقة البشرة ، ليتم التبادل الغازي خلالها حسب الحاجة ، وتلك هي الثقوب الثغرية (Stomatal pores) التي سبق التحدث عنها . ولا توجد بلاستيدات خضراء بخلايا البشرة عموماً ، فيما عدا الخلايا الحارسة للثغور . غير أن النباتات المائية — على نقيض النباتات الأرضية — تشذ عن هذه القاعدة ، إذ تحتوي بشرتها على بلاستيدات خضراء ، وقد تكون هذه أكثر غزارة في خلايا البشرة منها في الخلايا البارانشيمية التي تحتملها ، كما أن أوراق التريديات تحتوي هي الأخرى على بلاستيدات خضراء في خلايا البشرة ، وتعتبر البشرة في نبات كزبرة البئر بالذات أهم طبقات النسيج التمثيلي .

وإذا نزعنا ورقة الفول ، وفحصنا بالمجهر ، أمكن مشاهدة تركيبها في منظر سطحي (شكل ١١٥ إلى اليسار) . فيلاحظ أن جدار الخلايا متعرجة ومتداخلة ، وأن الثغور متناثرة بينها بانتظام . ويمكن تمييز الخيلتين الحارستين في كل ثغر بشكلهما الكلوي ، ويلاحظ أنهما تحتويان البلاستيدات الخضراء المستديرة ، وتحصران بينهما الثقب الثغري .

على أن تموج الجدار في خلايا البشرة ليس من الصفات العامة لجميع النباتات ، بل يقتصر على بعضها دون البعض الآخر ، وهو أكثر حدوثاً في ذوات الفلقتين منه في ذوات الفلقة الواحدة ، إذ أن البشرة في معظم النباتات الأخيرة ذات جدار مستوية .

وتوجد الثغور إما على سطح واحد من سطح الورقة وإما على السطحين معاً ، وفي معظم نباتات البيئة متوسطة الرطوبة (Mesophytes) ، توجد ثغور بنسبة أكبر على السطح السفلي . أما في النباتات التي يتخذ فيها النصل وضعاً جانبياً بحيث يتعرض السطحان للضوء والهواء بدرجة واحدة — كما في أوراق الكافور — فإن عدد الثغور يكون متساوياً تقريباً على السطحين . وفي

النباتات المائية ذات الأوراق الطافية — كنبات البشنين (Nymphaea) — يقتصر وجود الثغور على السطح العلوى للورقة .

المجموع النسيجي الأساسى الوسطى :

يعرف المجموع النسيجي الأساسى للورقة بالمجموع النسيجي الوسطى (Mesophyll) ، وهو مجموع يلائم تركيبه أداء وظيفة البناء الضوئى ، وينحصر بين البشريين العليا والسفلى ، ويتميز إلى نسيجين : النسيج العمادى (Palisade tissue) جهة السطح العلوى ، والنسيج الإسفنجى (Spongy tissue) جهة السطح السفلى .

وفى ورقة القول (شكل ١١٥) توجد طبقة واحدة من الخلايا العمادية تحت البشرة العليا ، بينما توجد طبقتان أو أكثر من هذا النسيج فى نباتات أخرى . وفى الحالة الأخيرة تكون خلايا الطبقة العمادية الخارجية أكثر طولاً من خلايا الطبقات التى تليها ، ويقل الطول بالتدرج كلما تقدمنا إلى الداخل وهناك نوع ثالث من النباتات ، توجد بأوراقها طبقة علوية وأخرى سفلية من الخلايا العمادية ، تليان البشريتين مباشرة . ومن هذا النوع الأخير نبات الكافور (Eucalyptus) وغيره من النباتات التى تتخذ أوراقها وضعاً جانبياً والوضع السطحى للخلايا العمادية يتيح لها امتصاص أكبر قدر ممكن من الضوء .

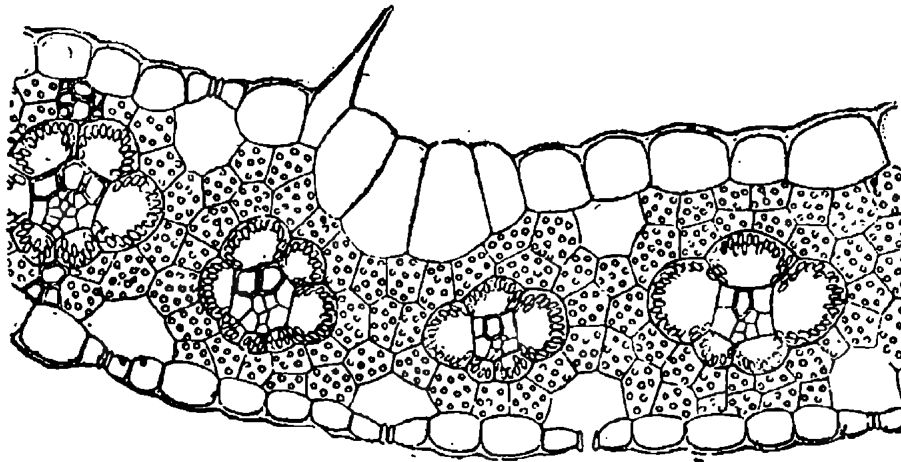
والخلايا العمادية هى إحدى أنواع الخلايا البارنشيمية . أسطوانية الشكل مستطيلة ، محورها الطولى متعامد على سطح الورقة . وتختلف نسبة طولها إلى عرضها فى النباتات المختلفة ، إذ تبلغ هذه النسبة (٦ : ١) فى ورقة عباد الشمس مثلاً و (١٠ : ١) فى ورقة الخروع . وهى ممتلئة بغزارة بالبلاستيدات الخضراء ، وتفصلها عن بعضها البعض مسافات بينية مستطيلة . ويقوم النسيج العمادى بالدور الأول فى وظيفة البناء الضوئى ، وتساعد على الاضطلاع بهذه الوظيفة وفرة ما به من بلاستيدات خضراء ، وكذلك وفرة مسافته البينية .

أما النسيج الإسفنجي فيلي النسيج العمادي من الداخل . ويتركب من خلايا غير منتظمة الشكل ، تفصلها مسافات بينية واسعة ، فتضئ عليها شكلا إسفنجياً مبرزاً ، ومن هنا نشأت التسمية . وخلايا هذا النسيج مفككة لكثرة المسافات البينية واتساعها ، وتفيد هذه المسافات الواسعة في تعريض مساحة كبيرة من جدر الخلايا للهواء المحتوى على الغازات التي تعتمد عليها هذه الخلايا في عمليات التبادل الغازى ، وفى ذلك ما يعينها على حسن القيام بوظائفها . وتحتوى الخلايا الإسفنجية نسبة من البلاستيدات الخضراء أقل من نسبتها في الخلايا العمادية ، وذلك لبعدها عن الضوء . كما أنها أقل من الخلايا الأخيرة كفاية لأداء وظيفة البناء الضوئى .

وتتجمع الخلايا العمادية في أطرافها الداخلية في مجاميع صغيرة ، تتصل كل مجموعة منها بإحدى الخلايا الإسفنجية المحيطة (Collecting cells) ذات الجوانب المتعددة ، وتتجمع نواتج البناء الضوئى عادة في هذه الخلايا ومنها تنتقل إلى الحزم الوعائية .

ومما تجدر الإشارة إليه أن تميز المجموع النسيجي الوسطى إلى نسيج عمادى وآخر إسفنجى ليس شائعاً في أوراق ذوات الفلقة الواحدة (شكل ١١٦) شيوحه بين ذوات الفلقتين .

(شكل ١١٦)



جزء من قطاع مستعرض لورقة الذرة (عن ميث واخرين) .

المجموع الوعائى :

مجموع الأنسجة الوعائية فى الورقة ممتد ومتشعب ، يكون شبكة من العروق فى ذوات الفلقنتين ، وجهازاً متوازياً فى ذوات الفلقة الواحدة . وتغزو العروق جميع أجزاء الورقة وتتفرع فيها ، والتفرعات المتتالية للجهاز الوعائى لا تقتصر على تيسير توزيع الماء والأملاح المعدنية فى جميع أجزاء الورقة فحسب ، بل تتعدى ذلك إلى تيسير الإسراع بنقل الأغذية المجهزة بالورقة إلى بقية أجزاء النبات ، وإزاحتها من مواضع تكوينها ، حتى لا يحول تراكمتها دون تكوين مواد جديدة تحل محلها . وبالإضافة إلى ذلك يكون المجموع الوعائى المتشعب هيكلاً مقوياً للورقة ، يحفظ لها قوامها ويمنعها من التهدل ، ويحميها من أضرار العوامل الخارجية . ويساعد على تحقيق هذه الغاية أيضاً وجود أنسجة دعامية أخرى سكارنشيمية وكولنشيمية - إما مرافقة للحزم الوعائية أو موزعة فى أجزاء مختلفة من النصل ، وتوجد هذه الأنسجة الدعامية بنوع خاص حول الحزم الرئيسية .

الحزم الوعائية :

تقع الحزمة الوعائية الرئيسية للورقة فى عرقها الوسطى (العير) وتتصل بها من أسفل خلايا بارنشيمية تتلوها خلايا كولنشيمية ، ويبرز العير على السطح السفلى للورقة مكوناً نتوءاً طويلاً يمتد بطول النصل ، غليظاً عند القاعدة ويستدق بالتدرج تجاه القمة . وتقوم الخلايا الكولنشيمية بدور هام فى تدعيم الورقة وتقويتها ، ولا تحتوى إلا على قدر ضئيل من البلاستيدات الخضراء ، ولذلك لا تؤدي دوراً هاماً فى عملية البناء الضوئى ، بل تقتصر أهميتها على التدعيم ، وتوجد خلايا كولنشيمية أخرى فوق الحزمة فى بعض الأوراق ، ولكن بكمية أقل مما تحتها . والملاحظ أن درجة تغلظ الخلايا الكولنشيمية أكبر ما تكون تحت البشريتين مباشرة ، وتقل بالتدرج كلما اتجهنا نحو الحزمة الوعائية . وتحاط الحزم الرئيسية من كل جانب بأنسجة بارنشيمية متعددة الطبقات قليلة البلاستيدات ، تفصلها عن النسيج الوسطى ، أما الحزم

الفرعية فيحيط بكل منها غمد محكم من طبقة واحدة من خلايا بارنشيمية متماسكة . وفي بعض النباتات تمتد الأغمد أعلى الحزم أو أسفلها - أو على الناحيتين معاً - في شكل أشرطة تصل ما بين الحزمة وإحدى البشريتين أو كليهما ، وتعرف هذه الأشرطة « بامتدادات أغمد الحزم » (Bundle-sheath extensions) ، وهي كثيرة الانتشار في ذوات الفلقة الواحدة كنبات الديس (Typha) وكثير من النجيليات .

وتتكون أغمد الحزم في أوراق ذوات الفلقة الواحدة إما من خلايا بارنشيمية رقيقة الجدر تحتوى على بلاستيدات خضراء ، وإما من خلايا مغلظة الجدر عديمة البلاستيدات . وأحياناً يتكون الغمد من طبقتين ، خارجية رقيقة وداخلية مغلظة .

وتتكون كل حزمة من خشب ناحية السطح العلوى ولحاء ناحية السطح السفلى . ويتكون الخشب من صفوف من الأوعية ، أصغرها - وهو الخشب الأول - يتجه ناحية السطح العلوى ، وأكبرها - وهو الخشب التالى - يتجه ناحية اللحاء ، وتفصل صفوف الأوعية صفوف من خلايا بارنشيمية رقيقة الجدر . أما اللحاء فيتركب من عناصره المعتادة ، ويمكن في كثير من الأحيان رؤية منطقة كامبيومية بين الخشب واللحاء ، وخصوصاً في النباتات دائمة الخضرة ، التى تبقى أوراقها على النبات أكثر من فصل نمو واحد .

ويقل تميز الحزم الوعائية ، كما تزداد البساطة في تركيبها ، تدريجياً كلما جاوزنا العروق الرئيسية إلى فروعها الدقيقة . فاللحاء مثلاً يصبح أقل تميزاً ، ويحل محله نسيج من خلايا طويلة متجانسة رقيقة الجدر ، وحتى هذه تختفى تماماً في أطراف الحزم . كذلك تختفى الأوعية الخشبية بالحزم الرئيسية مكانها لقصبليات قصيرة ، حلزونية أو شبكية ، كما تقل كمية البارنشيمية الخشبية بالتدريج حتى تختفى تماماً . وعلى ذلك فأطراف الحزم تتكون من بضع قصيبات يحيط بها غمد من طبقة واحدة من خلايا بارنشيمية .

البابُ الثاني عشر

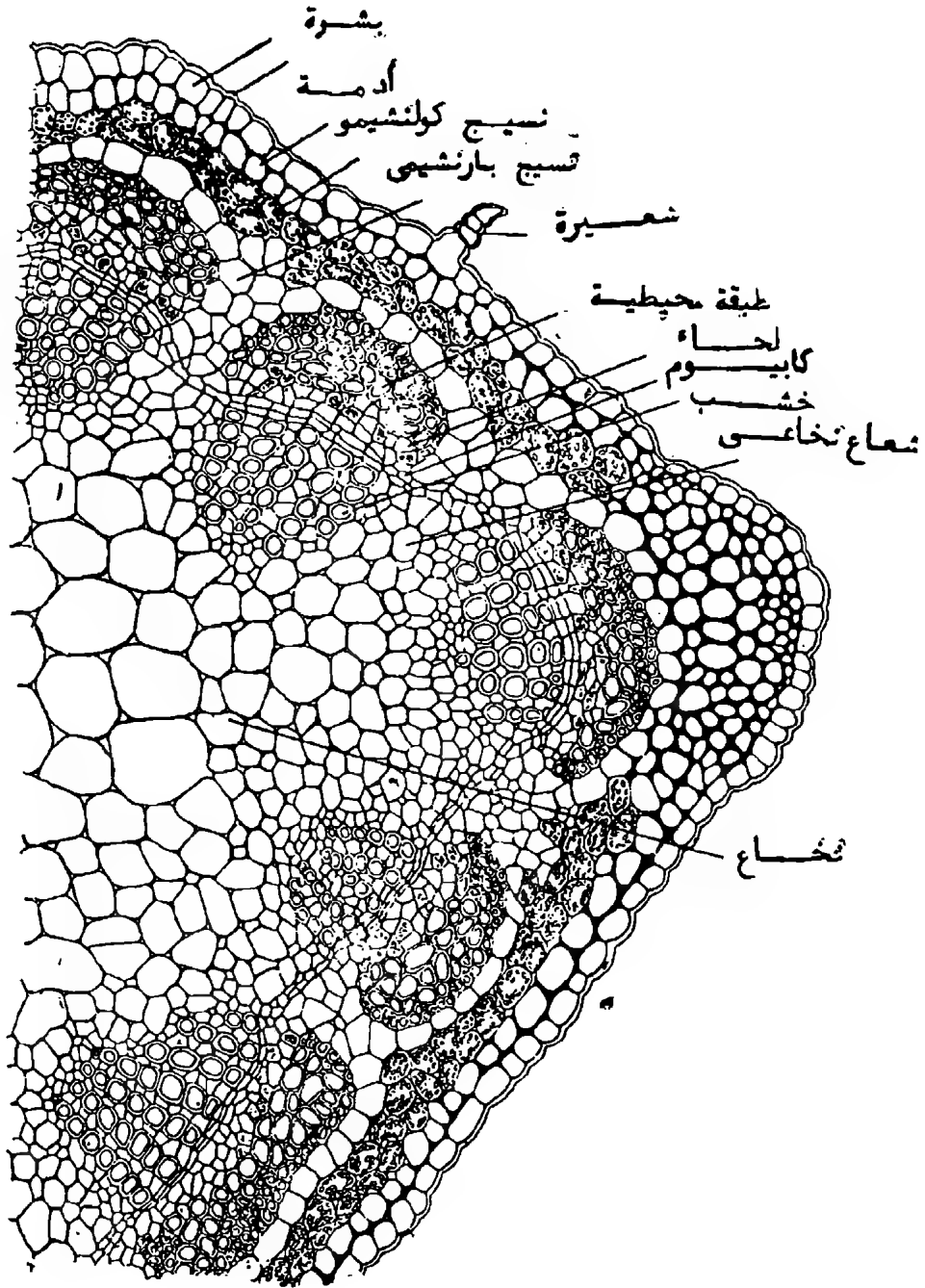
التغلظ الثانوى

(التغلظ الثانوى فى ساق ذوات الفلقتين)

تزداد حاجة الأوراق إلى المواد الغذائية كلما زاد حجمها ، ولذلك فإن حجم المجموع الوعائى للساق يتناسب مع مساحة سطوح الأوراق التى تحملها . ولما كان هناك ازدياد مضطرد كل عام فى كمية الأوراق الخضراء التى تنتجها النباتات الخشبية المعمرة فإن الحاجة تزايد باضطراد إلى تكوين عناصر توصيلية جديدة . وتتكون هذه العناصر نتيجة نشاط ثانوى للكامبيوم الذى يقع بين الخشب واللحاء فى الخزم الوعائية . وازدياد كمية الأنسجة الوعائية — بوساطة النشاط الثانوى للكامبيوم الخزمى — يعتبر من الصفات المميزة للنباتات عارية البذور وذوات الفلقتين ، لأن هذه النباتات هى وحدها التى تحتوى على كامبيوم ، باستثناء بعض أنواع التريديات وبعض نباتات من ذوات الفلقة الواحدة . أما غالبية النباتات الأنخيرة فلا وجود للكامبيوم فيها ، ولذلك فهى تزداد فى الحجم أساساً بكبر الخلايا التى تكونت فى أدوار النمو الابتدائى ، وذلك ما يحدث فى النخيل مثلاً . وهناك بعض نباتات أخرى من ذوات الفلقة الواحدة تقوم بنشاط ثانوى من نوع خاص يودى إلى ازدياد حجم مجموعها الوعائى بعد أن يكون قد استكمل نموه الابتدائى .

ويودى انقسام خلايا الكامبيوم فى ذوات الفلقتين — وفى النباتات عاريات البذور — إلى تكوين عناصر توصيلية جديدة ، ويكون ذلك مصحوباً فى العادة بازدياد تدريجى فى سمك الساق ، يطلق عليه اسم « التغلظ الثانوى » (Secondary thickening) .

(شكل ١١٧)



جؤء من قطاع مستعرض فى ساق نبات اليرسيم الجبازى عنه بداية التغلظ الثانوى يبين :

(١) أدمة ، (ب) يشرة ، (خ. ش) نسيج كولنشيمى : (خ. ب) نسيج بارنشيمى :

(د) غلاف ذئوى : (ز) شعيرة : (ط) طبقة محيطية ، (ل) لحاء ، (ك) كاميوم ،

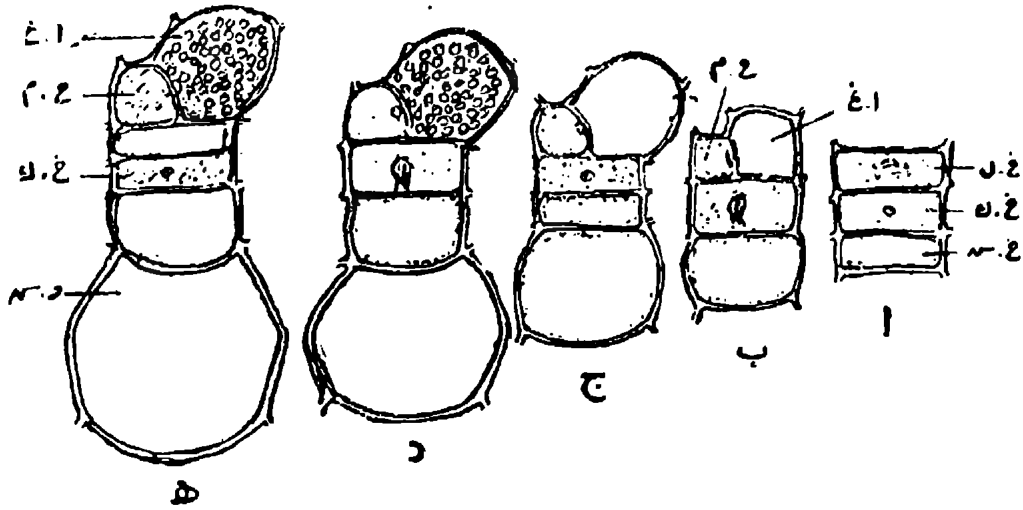
(ش) خشب ، (ع) شعاع نخاعى ، (ن) نخاع (عن سميت وآخرين) .

ويعد الكامبيوم الحزمي بمثابة بقية من منشئ الأسطوانة الوعائية ، لم تتحول إلى أنسجة وعائية ابتدائية ، بل ظلت على حالتها الإنشائية الأولى حتى نهاية النمو الابتدائي للساق . وتتكون من هذه البقية بعد فترة من الركود الأنسجة الثانوية التي تسبب التغلظ الثانوي بالساق . ويعرف الكامبيوم الذي بداخل الحزم « بالكامبيوم الحزمي » (Fascicular cambium) . وعند ابتداء التغلظ الثانوي تتصل أشرطة هذا الكامبيوم الحزمي عادة في الحزم المتجاورة بواسطة أشرطة كامبيومية أخرى جديدة ، تعرف « بالكامبيوم بين الحزمي » (Interfascicular cambium) ، تنشأ في الأشعة النخاعية الأصلية التي تفصل تلك الحزم . وتمتد تلك الأشرطة الجديدة على استقامة الكامبيوم الحزمي (شكل ١١٧) ، حتى يصبح بذلك الكامبيوم كله أسطوانة متصلة كاملة . ومما تجدر الإشارة إليه أن بعض النباتات - وخاصة العشبية - لا يتكون بها كامبيوم بين حزمي ، ويقتصر فيها النشاط الثانوي على الكامبيوم وحده ، كما هو الحال في نبات الشقيق (Ranunculus) والعايق (Delphinium) .

ويبدأ النشاط الثانوي للكامبيوم الحزمي بانقسام خلاياه المرة تلو الأخرى بجدر محيطية موازية لجدرها المحيطية الأصلية . وفي كل مرة تنقسم خلية الكامبيوم إلى خليتين ، إما أن تبقى الداخلية منهما إنشائية ، وفي هذه الحالة تتحول الخارجية إلى عنصر لحاء ، أو تبقى الخارجية إنشائية ، فتتحول الداخلية إلى عنصر خشب ويسمى الخشب واللحاء الجديدان بالخشب واللحاء الثانويين ، وتعطى نفس الخلية الإنشائية الأصلية عناصر الخشب واللحاء كليهما في انقساماتها المتتالية .

أما الكامبيوم بين الحزمي فيبدأ نشاطه في وقت واحد مع الكامبيوم الحزمي ، ويستمر نشاط الأسطوانة الكامبيومية - المكونة من الكامبيوم بين الحزمي وبين الحزمي - في السيقان الخشبية المعمرة إلى أجل غير محدود ، فتعطى لحاء ثانوياً إلى الخارج وخشباً ثانوياً إلى الداخل (شكل ١١٨) . وفي أغلب الأحيان يقف نشاط الكامبيوم في بعض أوقات السنة - كفصل الشتاء مثلاً - لعدم ملائمة الأحوال الجوية للنمو ، ولكنه لا يلبث أن يعاود

(شكل ١١٨)



(١ - أ) الأطوار المتعاقبة لشكل خلايا الكامبيوم بعد انقسامها . (أ. غ) أنبوية
غريابية ، (خ. ش) خلية خشب ، (خ. ك) خلية إنشائية ، (ح. ل) خلية لحماء
(خ. م) خلية مراققة ، (و. ش) وعاء خشبي .

نشاطه بعد أن ينقضي الفصل غير الملائم ، وتصبح الظروف الجوية أكثر
اعتدالا ، وهذه الطريقة يكون الخشب الثانوي الذي يضاف إلى الداخل
أسطوانة يزداد قطرها عاماً بعد عام . ولما كانت عناصر الخشب قوية
مغلظة فإن العناصر الخشبية لا تنضغط تحت تأثير الزيادة المستمر في تغلظ
الساق ، وما يقع بسببه من شد على اللحاء . وبالإضافة إلى ذلك ينتج
الكامبيوم من الخشب أكثر مما ينتج من اللحاء ، ولذلك فإن منطقة اللحاء
الثانوي تكون في العادة أقل اتساعاً من منطقة الخشب الثانوي ، ولا تساهم
بنصيب يذكر في زيادة سمك الساق ، ويكون الخشب الثانوي هو العامل
الأول في التغلظ الثانوي .

ويلاحق الكامبيوم الزيادة المستمر في قطر الخشب الثانوي واللحاء
الثانوي بتوسيع محيطه بإحدى طريقتين : إما بالانقسام في اتجاه قطري يتبعه
نمو الخليتين الناشئتين إلى الحجم الأصلي ، أو بالانقسام في اتجاه محيطي يعقبه
ذوبان الصفيحة الوسطى من بين الخليتين ، وانزلاق العليا فوق السفلى حتى
تصبح مجاورة لها بعد أن كانت تستقر فوقها . وقد تحدث الطريقتان معاً
في نفس الساق .

ويترب على تكوين الأنسجة الوعائية الثانوية لإزاحة اللحاء الابتدائي إلى الخارج والخشب الابتدائي إلى الداخل ، وازدياد بعدهما عن أسطوانة الكامبيوم باستمرار . ويؤدي الضغط الحادث من هذا التغلظ المستمر إلى شد عناصر اللحاء الابتدائي في اتجاه محيطي ، ينهى بانغلاقها حتى لا تعود قدرة على الاستمرار في أداء وظيفة التوصيل ، وينهى بها الأمر إلى التمزق والاختفاء كلية . أما الخشب الابتدائي فلا يحدث به مثل هذا الانضغاط ، لقربه من مركز الساق ، وعدم تعرضه لنفس الدرجة من الشد المحيطي الذي يتعرض له اللحاء الابتدائي البعيد عن المركز . ولذلك يحتفظ الخشب الابتدائي بشكله دون تغيير ، ويرى عند النهاية الداخلية للخشب الثانوي وعلى امتداده . وكثيراً ما ترتب أوعيته في صفوف قطرية واضحة يكون فيها الخشب التالي مجاوراً للخشب الثانوي ، والخشب الأول متجهاً إلى الداخل ، ويقع الخشب الابتدائي مع الخشب الثانوي على نصف قطر واحد .

ومن أدلة التوتر الذي تعانيه الأنسجة الخارجية في السيقان المتغلظة ، أننا إذا قطعنا قشرة ساق من هذه السيقان بخدشها طولياً خدشاً سطحياً غير غائر ، فإننا نلاحظ أن حافتي الخدش تتباعدان سريعاً ، نتيجة لانكماش الأنسجة السطحية في اتجاه محيطي بمجرد إزالة التوتر الواقع عليها ، وما التشقق الذي نشاهده في قلف جذوع الأشجار إلا مظهراً من مظاهر هذا التوتر .

وفي بعض أجزاء الحلقة الكامبيومية ، يتكون الكامبيوم من خلايا متساوية الأبعاد تقريباً ، تنتج بانقسامها خلايا بارنشيمية إلى الداخل والخارج بدل العناصر الوعائية ، وتختلف نواتج الانقسام في هذه الحالة عن عناصر الخشب واللحاء الثانويين في كونها خلايا مستطيلة قطرياً لا رأسياً . وتنظم هذه الخلايا البارنشيمية عادة في صفوف قطرية تعرف بالأشعة النخاعية . ويمكن تمييزها بوضوح في قطاع مستعرض في ساق مغلظة من سيقان ذوات الفلقتين ، ويبلغ سمكها طبقة أو أكثر من الخلايا . وهي تمثل صفائح تحترق الأنسجة الوعائية في اتجاه قطري . وتمتد بعض هذه الأشعة من القشرة إلى النخاع ، وتشغل مكان الأشعة النخاعية الأصلية في الساق الحديثة ،

وبعضها لا تبلغ القشرة ولا النخاع ، ولكنها تنهى داخل اللحاء الثانوى والخشب الثانوى ، وتعرف بالأشعة الوعائية (Vascular rays) -

(شكل ١١٩)

(شكل ١١٩) - وهى

تتكون متأخرة عن الأشعة

الابتدائية وتكثر فى السيقان

الخشبية ، وتنشأ إما من

الكامبيوم الحزمى وحده أو

منه ومن الكامبيوم بين

الحزمى ، وذلك بتوقف

نشاط خلية أو أكثر من

خلايا الحلقة الكامبيومية

عن إنتاج لحاء ثانوى إلى

الخارج وخشب ثانوى

إلى الداخل ، وإنتاج خلايا

بارنشيمية على الناحيتين -

بدلاً من العناصر الوعائية -

وباستمرار نشاط الكامبيوم

يزداد عدد هذه الأشعة فى

اتجاه قطرى داخل الأنسجة

الوعائية الثانوية المتكونة

حديثاً. ويزداد عدد الأشعة

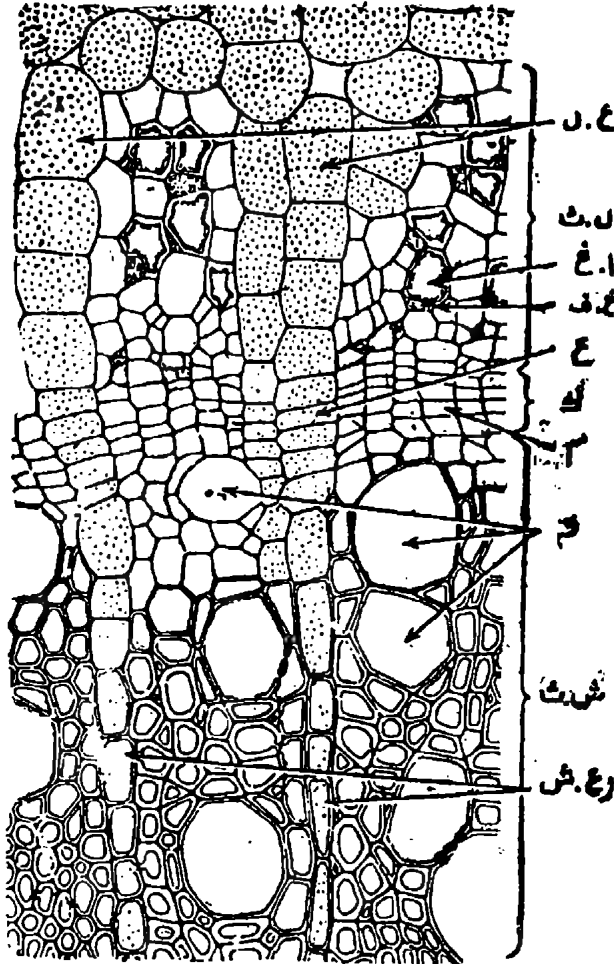
الوعائية باستمرار أثناء

التغلظ الثانوى ازدياداً

يتناسب مع الزيادة المضطردة

فى قطر الساق . ويكون

دائماً أكبر فى الجزء



جزء من اطام مستعرض فى ساق العنبر
الفاظه بين : (ع ل) أشعة لحاءية ، (ل ت)
لحاء ثانوى ، ويشاهد به شكل الأوعية القرابية
من خلايا الكامبيوم ، (أ غ) أوعية قرابية ، (د ف)
خلية مرافقة ، (ع) خلايا إنشائية شعاعية ، (ك)
كامبيوم ، (م) خلايا الكامبيوم المنشأة للخشب ،
(و) نوعية خشبية فى مراحل مختلفة من التكوين ،
(ش ت) خشب ثانوى ، (ع ش) أشعة خشبية ،
كذلك ترى الأشعة الوعائية : نطاق الخشب واللحاء
الثانويين (عن إسو).

الخارجى من أسطوانة الخشب الثانوى - وهو الأحدث تكويناً - منه فى الجزء المركزى القديم. ويتوقف مدى تغلغل الأشعة الوعائية قطرياً فى الخشب واللحاء على عمرها ، فكلما كانت أقدم زادت المسافة التى تغلغلها فى الأنسجة الوعائية الثانوية .

وبجملة القول إن الأشعة النخاعية تنشأ من إنتاج الكامبيوم بين الحزم لخلايا بارنشيمية منذ بداية نشاطه الثانوى ، بينما يبدأ تكوين الأشعة الوعائية بعد أن يكون الكامبيوم قد استمر فى إعطاء لحاء وخشب ثانويين لفترة من الزمن ، توقف بعدها عن إنتاج عناصر وعائية ، وأخذ فى إنتاج عناصر بارنشيمية بدلا منها .

ويختلف كثيراً نظام التغلظ الثانوى فى النباتات المختلفة ، ففى بعض النباتات العشبية من ذوات الفلقتين - كالبرسيم الحجازى (Medicago) - لا ينتج الكامبيوم بين الحزم فى الناحية الداخلية سوى ألياف أو خلايا بارنشيمية ملجننة ، وأحياناً يكون التغلظ الثانوى طفيفاً ومقصوراً على الحزم الوعائية وحدها ، لا يتجاوزها إلى ما بينها من أشعة نخاعية ، كما فى القرع والبرسيم .

وفى بعض النباتات الخشبية - كالزيزفون (Tilia) ، شكل ١٢٠ . والتبغ (Nicotiana) - تكون الأنسجة الوعائية الابتدائية مرتبة فى حزم متقاربة غاية التقارب ، لضيق الأشعة التى تفصلها ، ولذلك تتخذ هذه الأنسجة شكل أسطوانة كاملة متصلة . وفى هذه الحالة تتخذ الأنسجة الوعائية الثانوية أيضاً نفس الشكل الأسطوانى المغلق .

وهناك نباتات عشبية وأخرى خشبية كالصنوبر (Pinus) وغيره من المحروطيات ، وكذلك المشمش (Prunus) والصفصاف (Salix) ، تكون فيها الأنسجة الوعائية الابتدائية فى شكل حزم متفرقة ومتباعدة ، ولكن تتخذ الأنسجة الوعائية الثانوية شكل أسطوانة متصلة مغلقة .

وفى بعض النباتات كالعنب (Vitis) والأرسطولوخيا (Aristolochia) تكون الأنسجة الوعائية الابتدائية جهازاً من الحزم المنفصلة المتباعدة . وينتج

الكامبيوم بين الحزمى خلايا بارنشيمية شعاعية فقط ، ولذلك فإن الأنسجة الوعائية الثانوية تكون مرتبة هي الأخرى فى حزم منفصلة ومتباعدة .

الحشب الثانوى :

يتكون الحشب الثانوى من أربعة أنواع من العناصر ، هى الأوعية والقصبىات والألياف وبارنشيمية الحشب . وقد سبق وصف كل نوع من هذه الأنواع بالتفصيل . ويلاحظ أن عناصر الحشب الثانوى ترتب عادة فى نظام قطرى واضح ، ولو أن هذا الترتيب قد يخلط قليلا فى بعض الأحيان ، نتيجة لكبر بعض الأوعية لدرجة تزيد على سمك الصف الذى تقع فيه ، ولما يسببه تضخم هذه الأوعية من ضغط على العناصر الملاصقة لها فى الصفوف المجاورة يخرجها عن صفوفها الأصلية ، فيؤدى ذلك إلى حجب الترتيب القطرى للعناصر (شكل ١١٩) . أما السبب فى هذا الترتيب القطرى فهو أن كل صف من صفوف الأوعية ناتج من نشاط خلية كامبيومية واحدة .

وتوجد بجدر الأوعية فى الحشب الثانوى نقر عديدة - مضفوفة أحيانا - ومرتبة فى صفوف رأسية ، وكثيراً ما يصاحب هذا التنقير تغلظ شبكى أو حلزوني على السطح الداخلى للجدار . أما القصبىات فلها مثل اتساع الأوعية تقريباً ، ولكنها أقصر من الأخيرة كثيراً وطرفاها مغلقان . ونسبة الأوعية فى الحشب الثانوى أكبر كثيراً من نسبة القصبىات ، بل إن القصبىات لا وجود لها على الإطلاق فى سيقان بعض النباتات ، كساق الصفصاف .

أما ألياف الحشب فهى كما سبق أن ذكرنا مديبة الأطراف مغلظة الجدران ، وبجدرها عادة نقر بسيطة على هيئة شقوق ضيقة مائلة ، ومادة التغلظ هى اللجنين غالباً . وليس بالألياف محتويات حبة ، وفى بعض النباتات - كالعنب - تكون مقسمة عرضياً . وتلك حالة متوسطة بين الألياف العادية وبارنشيمية الحشب .

وتشبه الخلايا البارنشيمية في الحشب الثانوى نظائرها في الحشب الابتدائى من حيث شكلها واحتوائها على الكتلة الخلوية الحية (البروتوبلاست) إلا أن الجدار تكون أكثر سمكاً عادة في بارنشيمية الحشب الثانوى منها في بارنشيمية الحشب الابتدائى ، وقد تتلجن أحياناً ، وتوزع الخلايا البارنشيمية في بعض السيقان توزيعاً منتظماً داخل أنسجة الحشب الثانوى ، ولكنها في الغالب تتركز حول الأوعية . وعندما تتجاوز خلية بارنشيمية ووعاء ، فإن نقرأ تتكون على جدار الخلية البارنشيمية في نفس المواضع التى بها نقر الوعاء ، ولكن على الجانب المقابل من الجدار المشترك ، وتكون النقر في هذه الحالة نصف مضمفوفة .

أما الأشعة النخاعية فلا يمكن إدراك تركيبها إدراكاً تاماً إلا بدراسة قطاعات مستعرضة وطولية قطرية وطولية محيطية في مختلف أنواع السيقان المغلظة ، فخلايا الأشعة تبدو فى القطاع المستعرض كبيرة الشبه ببارنشيمية الحشب ، فيما عدا اتجاه محورها الطويل قطرياً بدل أن يتجه رأسياً ، كما أن جدرانها أرق قليلاً من جدار بارنشيمية الحشب ، ويختلف اتساع الأشعة اختلافاً كبيراً ، ولكن الأشعة الوعائية ضيقة عادة ، لا يكاد يزيد اتساعها على خلية واحدة (شكل ١١٩) . وفي معظم الأشجار الحشبية تكون الأشعة النخاعية ضيقة هي الأخرى ، وقد لا تزيد على الأشعة الوعائية في الاتساع بينما هي شديدة الاتساع في النباتات العشبية ، ويمثل كل شعاع صفيحة من الخلايا تمتد رأسياً في اتجاه الجهاز الوعائى . ويمكن معرفة امتدادها الرأسى بفحص قطاع طولى محيطى ، وملاحظة أن الأشعة الوعائية تمتد رأسياً لمسافة محدودة ، لا تتجاوز العشر إلى إثنتى عشرة خلية . أما الأشعة النخاعية فتمتد مسافة سلامى كاملة أو أكثر .

وتمثل بارنشيمية الحشب والأشعة البارنشيمية الأجزاء الحية من الحشب الثانوى ، فالأسطوانة الحية - المكونة من القشرة واللحاء - تتصل بصفائح حية تتجه إلى الداخل ، وهى الأشعة البارنشيمية ، ولا يصل إلى النخاع من بين هذه الصفائح إلا الأشعة النخاعية وحدها ، وهناك تلتحم بالغلاف

النخاعى (Medullary sheath) المحيط بحزم الخشب الابتدائى ، وهو مكون من خلايا بارنشيمية حية . والأشعة الوعائية هى الأخرى ليست معزولة عن بقية الأنسجة الحية ، حتى فى مرورها داخل منطقة الخشب الميت . ذلك لأنها تتصل رأسياً وأفقياً بمجموعات من خلايا بارنشيمية الخشب . ويؤدى هذا الجهاز الحى الذى يتخلل الخشب الميت وظيفتين هامتين : الأولى توصيل المواد الغذائية المجهزة إلى منطقة الكامبيوم والخلايا الحية فى الخشب والغلاف النخاعى ، والثانية اختزان المواد الغذائية كالنشا فى بعض أوقات العام ، هذا النشا المدخر يستنفد أثناء إنبات البراعم فى الربيع التالى ، حيث يتحول إلى سكر ينتقل مع الماء الصاعد فى أوعية الخشب إلى منطقة النمو . أما تهوية الأنسجة الثانوية فتقوم بها الفراغات البينية الضيقة الموجودة بالأنسجة الحية .

اللحاء الثانوى :

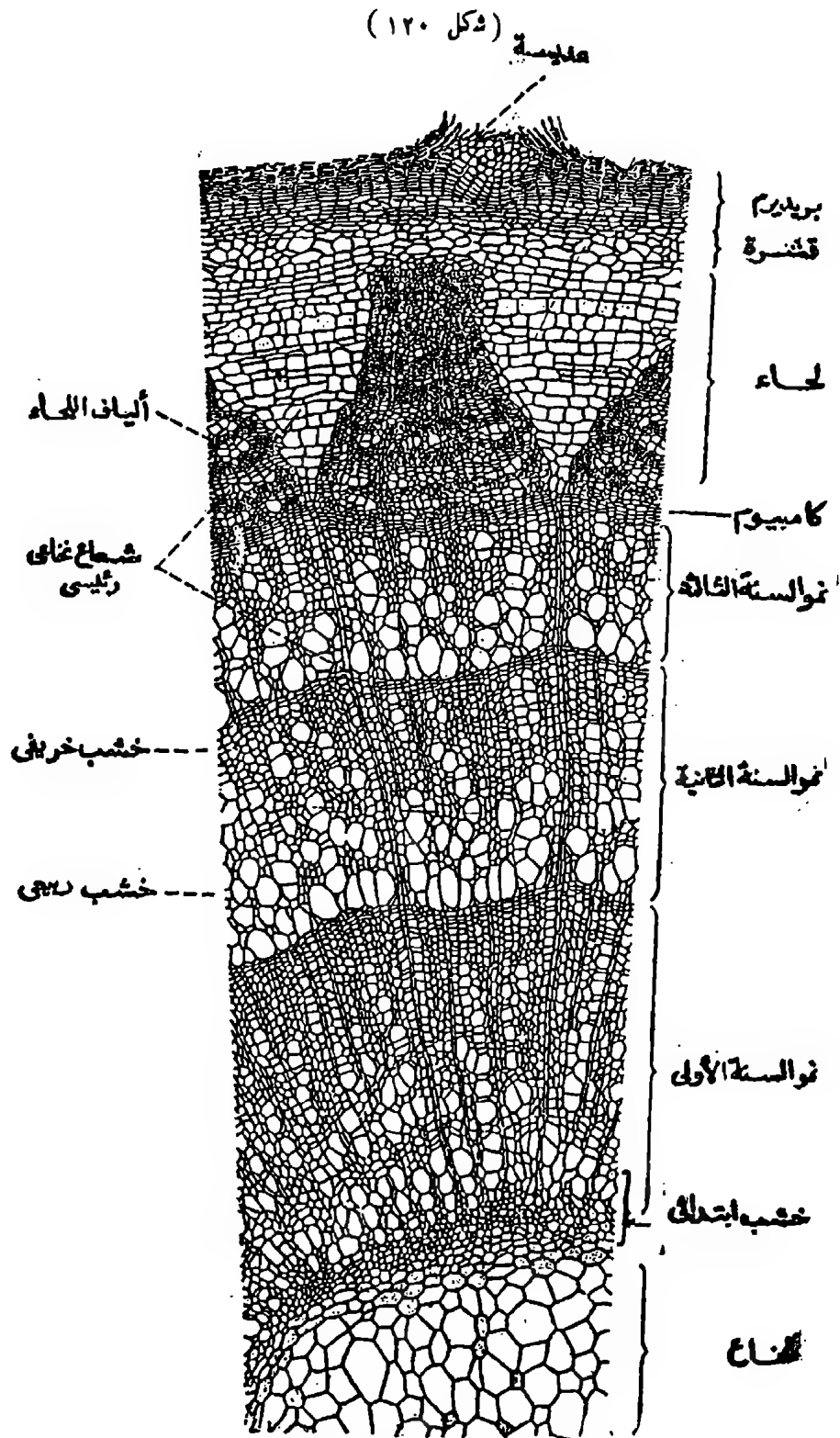
يتكون اللحاء الثانوى من نفس العناصر التى يتكون منها اللحاء الابتدائى أى من أنابيب غربالية وخلايا مرافقة وبارنشيمية لحاء ، والخلايا المرافقة أكبر عادة فى اللحاء الثانوى منها فى اللحاء الابتدائى ، كما أن اللحاء الثانوى يحتوى أيضاً - بالإضافة إلى العناصر المتقدمة - على ألياف لحائية . وكثيراً ما تكون الحواجز الغربالية مائلة أو مركبة - أى مكونة من عدة صفائح غربالية مركبة - كما فى العنب ، إلا أنها فى أكثر الأحيان تكون بسيطة وأفقية ، أى لا تحتوى سوى مساحة غربالية واحدة مثقبة . وهناك حالات تتكون فيها الخلايا البارنشيمية والأنابيب الغربالية (بخلاياها المرافقة) فى تتابع منتظم ، يؤدى إلى تميز طبقات محيطية متبادلة من هذين النوعين من العناصر . كذلك كثيراً ما تنتظم ألياف اللحاء هى الأخرى فى طبقات محيطية متبادلة مع طبقات العناصر اللحائية الحية ذات الجدر الرقيقة ، ويلاحظ ذلك بوضوح فى ساق الزيزفون المسنة (شكل ١٢٠) . وهناك مجموعات رأسية من خلايا بارنشيمية اللحاء ، بها بللورات من أكسالات

كالسيوم ، وكذلك عناصر إفرازية مستطيلة ، منتشرة في اللحاء الثانوى
كثير من النباتات . وكثيراً ما يسقط اللحاء الثانوى القديم الذى توقف عن
داء وظيفته مع القلف .

وتتصل الأشعة النخاعية في اللحاء الثانوى بأشعة الخشب الثانوى (شكل
١٢٠) ويكون لها نفس التركيب ، إلا أن خلاياها تظل رقيقة الجدر ، وفي
معض النباتات الزهرية - كنبات الزيزفون (شكل ١٢٠) - تنسع الأطراف
لخارجية للأشعة النخاعية وتتخذ شكل فوهة القمع ، وبذلك تقسم اللحاء
لثانوى إلى قطع هودجية الشكل ، مثلثة في القطاع المستعرض .

الحلقات السنوية :

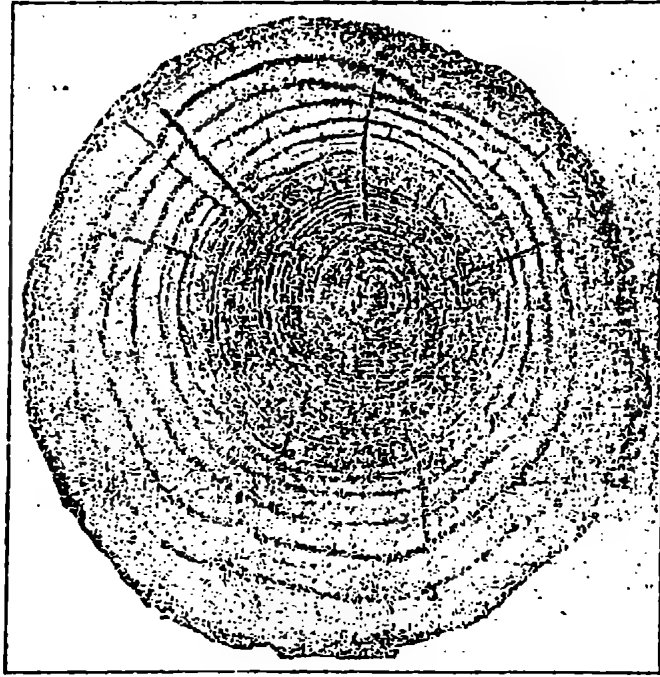
يتكون الجانب الأكبر من الخشب الثانوى - الذى يضاف كل عام -
من أوعية وألياف . وتختلف نسبة الألياف التى تتكون في الفصول المختلفة .
فالخشب الذى يتكون في الربيع - وهو المعروف بالخشب الربيعى (Spring
wood) - يحتوى نسبة من الأوعية أعلى من نسبة الألياف ، وأعلى أيضاً
من نسبة الأوعية في الخشب الخريفي (Autumn wood) الذى يتكون في
الخريف ، كما أن أوعية ذلك الخشب الربيعى وأليافه أوسع وجدرها أرق
من أوعية الخشب الخريفي وأليافه . وهذا الفرق بين الخشب الربيعى والخريفي
أكثر وضوحاً في النباتات متساقطة الأوراق منه في النباتات دائمة الاخضرار ،
ويعزى ذلك إلى ازدياد حاجة النبات إلى الماء في الربيع بسبب تفتح البراعم
وتكون أوراق جديدة ذات سطح ناتج كبير . أما في الخريف فإن الأشجار
تسقط أوراقها فيقل احتياجها إلى الماء ، بينما تزداد حاجتها إلى التدعيم الميكانيكى
ولهذا تتكون في ذلك الفصل أوعية ضيقة مع نسبة أكبر من الألياف ذات
التجاويف الضيقة والجدر السميك الملمع . وهناك في العادة حد فاصل واضح
المعالم بين الخشب الخريفي الكثيف - ذى العناصر الصغيرة والمتكون في سنة
ما - والخشب الربيعى ذى العناصر الواسعة والمتكون في السنة التالية . ويؤدى



لحاء متعرض في سان الزيفون بين الحلقات السنوية (من ١٠ مكروريسكت).

هذا التحديد إلى تميز عدة حلقات سنوية (Annual rings) متعاقبة في الخشب الثانوى للسيقان المسنة (شكلا ١٢٠ و ١٢١) ، يمكن بواسطتها تقدير عمر هذه السيقان على وجه التقريب ، إذ أن كل حلقة تمثل عادة الخشب المتكون في عام كامل .

(شكل ١٢١)



قطاع مستعرض في كتلة خشبية تبين الحلقات السنوية والخشب الرخو (الخارجى) والخشب الصمىمى (الداخلى) .

بيد أنه يحدث أحيانا - عندما يبرد الجو كثيرا أو تهب عواصف باردة في فصل الربيع - أن تساقط أوراق الأشجار ، فيقل بذلك احتياج النبات للماء ، ويقف تكوين عناصر الخشب الربيعى الواسعة ، لتتكون بدلا منها عناصر ميكانيكية ضيقة من عناصر الخشب الخريفى ، ثم لا تلبث أن تتكون أوراق وبراعم جديدة عندما ينتهى البرد والعواصف العارضة ، لتحل محل الأوراق التى قتلها البرد أو أسقطها ، وبذلك تتكون حلقتان في سنة واحدة ، ولا يكون

عدد الحلقات في هذه الحالة معبراً عن عمر النبات . ويحدث مثل ذلك أيضاً عندما تحتاج الأوراق والبراعم النامية في أوائل الربيع آفات حشرية تستمر بعض الوقت ثم تزول ، لتتكون من بعدها أوراق وبراعم جديدة .

ومما هو جدير بالملاحظة أن الحلقات السنوية تتكون في السيقان دون الجذور ، ويفسر ذلك بأن الأولى أكثر من الثانية تعرضاً للتقلبات الجوية . كذلك تشاهد الحلقات السنوية في الخشب دون اللحاء . ويتوقف اتساع الحلقات السنوية على التغذية المتاحة للنبات ، فكلما زاد حظه من الغذاء اتسعت حلقاته .

الخشب الصميمي والخشب الرخو :

من أهم الأسباب الداعية إلى استمرار السيقان المسنة في إنتاج خشب جديد عاماً بعد عام ، أن الجزء المركزي من الأسطوانة الخشبية - وهو الذي يحتوي أقدم العناصر - تطرأ عليه تغيرات تؤدي إلى توقف عناصره عن أداء وظيفة التوصيل ، ولو أنها تزيد في قيمته التدعيمية . ويسمى هذا الجزء المركزي بالخشب الصميمي (Heart wood) ، نتميزه عن الجزء الخارجي الحديث الذي يؤدي وظيفة التوصيل ، ويعرف بالخشب الرخو أو العصيري (Sap wood) كما هو مبين في (شكل ١٢١) .

وتمتلىء عناصر الخشب الصميمي عادة بمواد مختلفة داكنة اللون ، كالراتنج والديباغيات ، تسبب دكنة في لون ذلك الخشب ، تميزه عن الخشب الرخو الباهت . ونرسب تلك المواد ذات اللون الداكن في الخشب الصميمي لأشجار الماهوجوني والجوز والأبنوس وما إليها يرفع من قيمة هذه الأخشاب . ويجعلها أكثر صلاحية للأغراض الصناعية لما تضيفه عليها من متانة وقوة احتمال ، كما أن لونها الداكن يزيد من قابليتها للتلميع والاصطباغ وفي الأبنوس يظهر الخشب الرخو الموصل أبيض اللون ، والخشب الصميمي الذي يستعمل في الصناعة أسود لامعاً ثقيلًا .

والمواد التي تتخلل الخشب الصميمي هي في الغالب مواد مقاومة للآفات ،
والذلك لا يتأثر هذا الخشب بالفطريات ولا بالحشرات والبكتيريا . فكأنما
يزيد ترسب تلك المواد الخشب متانة ومقاومة ، وتعزى أفضلية خشب التيك
(*Tecoma grandii*) - وهو من نباتات المناطق الحارة - في صناعة الأثاث
إلى احتوائه نوعاً من الزيوت يحصنه ضد الحشرات الثاقبة ، كما يعطيه تلك
الرائحة الخاصة المميزة . كذلك يعزى تجوف جذوع الصفصاف في طور مبكر
إلى خلو خشبها من المواد المقاومة للآفات .

وتتغلق غالباً تجاويف العناصر التوصيلية في الخشب الصميمي بطرق شتى
أهمها نمو أجزاء مثانية الشكل تنفذ من خلال النقر التي يجدر تلك العناصر وتمتد
إلى داخل تجويفها . وتعرف هذه الأجزاء بالتياوزات (Tyloses) . وهي
تخرج من بارنشيمة الخشب لتدخل الأوعية (شكل ١٢٧) : وتظهر بداخلها
في شكل خلايا بارنشيمة كاذبة (Pseudoparenchyma) : تملأ قنواتها ملئاً
تاماً ، وتحدها من الخارج أغشية النقر ذات الجدر الرقيقة ، التي تنمو وتتمدد
وأحياناً تتغلظ وتتلجن .

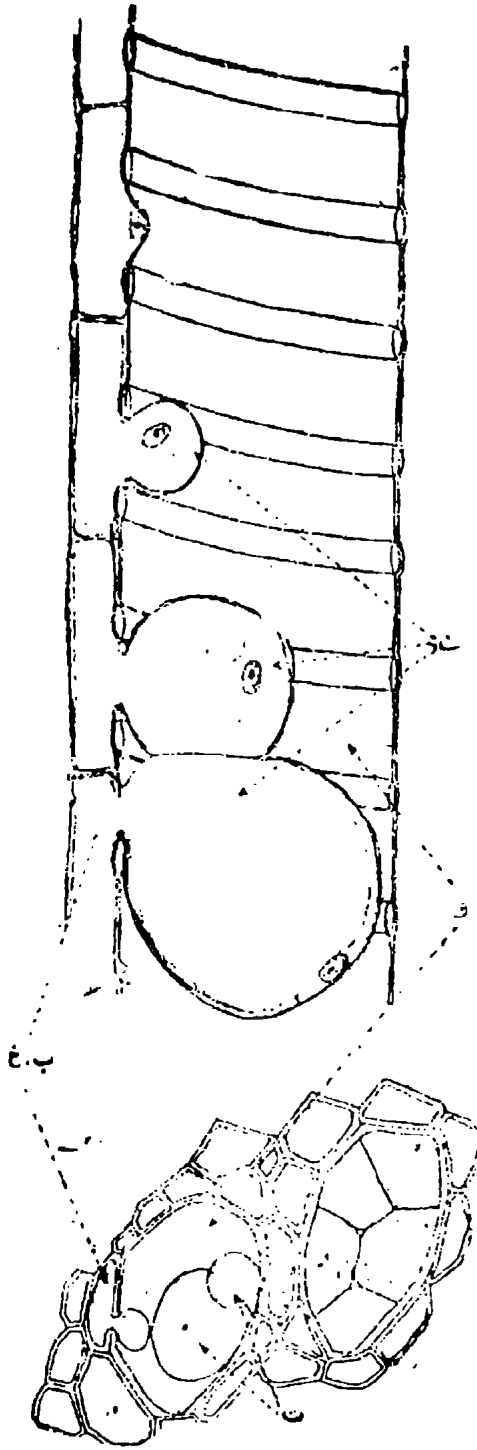
والتيلوزات تركيبات حية ، تحتوى سيتوبلازما وعصيراً خلويّاً ، ونواة أيضاً
في بعض الأحيان . وعندما تبلغ التيلوزات أقصى حجمها تموت هي
وبارنشيمة الخشب الصميمي ، وبذلك يصبح الأخير مكوناً جسيماً من
عناصر ميتة .

وتتكون التيلوزات أيضاً في السيقان العشبية - كساق القرع - ولكن وظيفتها
في تلك السيقان غير واضحة .

ولا يحدث انغلاق الأوعية دائماً بتكوين التيلوزات ، بل ترسب
أحياناً مواد معدنية مختلفة داخل الأوعية ، تؤدي إلى انسدادها .

وفي الكتل الخشبية التي تمثل جذوع الأشجار وفروعها الكبيرة
تختفي معالم الحلقات السنوية غالباً . أو يقل وضوحها في الخشب الصميمي
الداكن بينما تظل واضحة في الخشب الرخو .

(شكل ١٢٢)



عقد الخشب (Timber knots) :

يتكون عادة قلب من الخشب الثانوى فى السيقان الرئيسية أكثر مما يتكون فى الفروع الجانبية ، ولذلك فباستمرار الزيادة فى سمك المحور الرئيسى للساق ينغمس الجزء القاعدى للفرع فى الخشب الثانوى الذى يضاف بسرعة وغزارة إلى الساق الرئيسية ، ويصبح مطموراً داخله . كذلك إذا بقى فرع ميت على شجرة حية وقتاً طويلاً فإن قاعدته تكون مخروطة من الأنسجة الميتة داخل الخشب الثانوى للساق . فإذا قطعت قطاعات طولية محيطية فى مثل هذه الساق فإن القطع يمر عرضياً فى المخروط المطمور الذى يظهر فى القطاع على شكل عقدة (Knot) داخل الخشب الثانوى للساق الرئيسية . وتكون هذه العقد إما سائبة أو وثيقة الاتصال بالخشب الثانوى المحيط بها ، ويتوقف ذلك على ما إذا كانت الفروع الجانبية حية أم ميتة وقت الانظار .

قطاع طولى وبأسنه قطاع مستعرض
أنيابان طريقة تكوين التيلوزات من الخلايا
البارشيمية المحيطة بالوراء الخفى : (ب.ج)
بارشيمية خشب ، (ت) تيلوز ، (و) وعاء
خشبى (ع هوامان) .

(التغلف الثانوى فى الجذر)

يحدث التغلف الثانوى عادة فى الجذور الوتدية لذوات الفلقتين وعاريات البذور ، وفى الفروع الرئيسية لهذه الجذور . أما فى ذوات الفلقة الواحدة فأنسجة الجذور تكون غالباً ابتدائية ، والتغلف الثانوى فيها نادر .

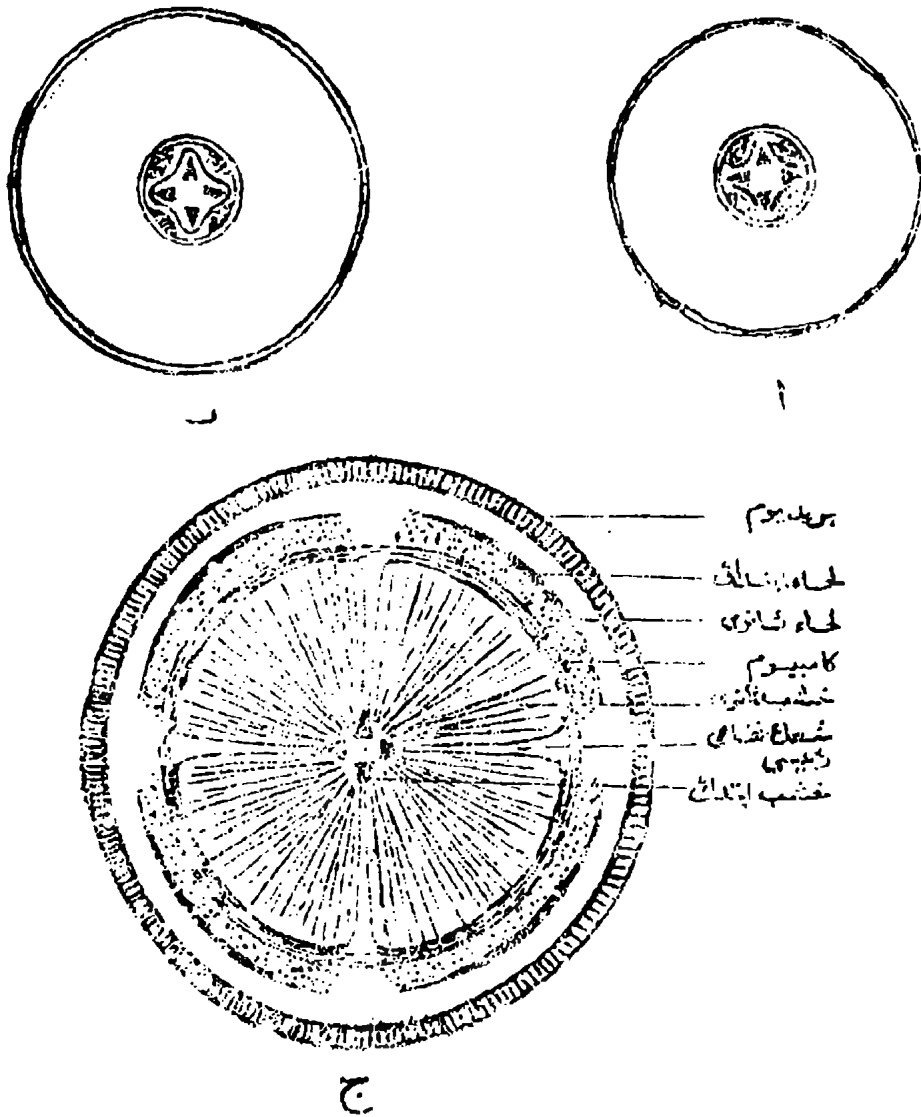
وتوجد عادة بالجذور الحديثة طبقتان أو ثلاث طبقات من خلايا بارنشيمية تفصل كل مجموعة من مجموعات اللحاء الابتدائى عن الذراع الخشبى الذى يجاورها من كل ناحية . وقبيل التغلف الثانوى تنشأ فى هذه الخلايا جدر انقسام محيطية ، تحصر بينها طبقة كامبيوم يشبه كامبيوم الساق ، ويؤدى ذلك إلى تكون عدد من الأشربة الكامبيومية مساو لعدد مجاميع اللحاء أو أذرع الخشب وينتج عن نشاط هذه الأشربة تكوين خشب ثانوى إلى الداخل ولحاء ثانوى إلى الخارج .

ويبدأ تكشف الكامبيوم فى الخلايا الملاصقة للجانب الداخلى من اللحاء ، ثم يمتد من هناك تدريجياً إلى الخارج على جانبي الأذرع الخشبية وبمحاذاتها ، إلى أن يصل إلى الطبقة المحيطية الواقعة مقابل الخشب الأول مباشرة (شكل ١٢٣ : أ) ، إذ ذاك تتكون جدر انقسام محيطية فى تلك الخلايا ، وتصبح طبقة الكامبيوم حلقة مغلقة ولكنها متموجة (شكل ١٢٣ : ب) .

ولما كان نشاط الكامبيوم يبدأ أكثر تبكيراً فى أجزائه التى تكونت أولاً منه فى الأجزاء المتأخرة — الواقعة مقابل الخشب الأول أو بالقرب منه — فإن التغلف الثانوى يكون فى أول الأمر أكثر نشاطاً بجوار الأجزاء الداخلية من الخشب واللحاء الابتدائين منه بجوار الأجزاء الخارجية . ونتيجة لذلك يصبح الكامبيوم دائرياً بعد أن كان متموجاً .

وبعد أن يستمر التغلف الثانوى فترة من الزمن تتكون أسطوانتان واسعتان من الخشب واللحاء الثانويين (شكل ١٢٣ : ج) شبيهتان بنظيرتيهما فى الساق المغلفة ، وتحترقها — كما فى الساق — أشعة نخاعية وأخرى وعائية ، والأولى

(شكل ١٢٣)

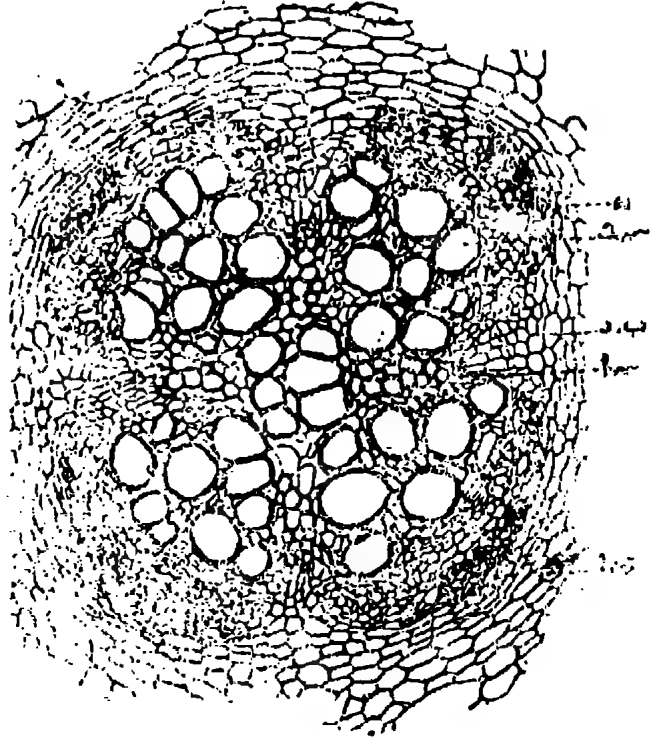


رسم تخطيطي لقطاعات مستعرضة في جذور نبات من ذوات الفلقتين (١ - ج) من مسافات متعاقبة من طرفه ، تشاهد فيها المخطوات التدريجية في التفلط الثانوي للجذر .

أوسع كثيراً من الثانية (شكل ١٢٤) وخاصة في جذور النباتات العشبية . وهي تصل ما بين القشرة والنخاع ، وتمتد في اتجاه قطري على استقامة الأذرع الخشبية وتساويها في العدد . وعندما تكون هذه الأشعة شديدة الاتساع - ومكونة من خلايا بارنشيمية فقط - فإنها تنقسم الأنسجة الوعائية الثانوية إلى عدد من الأجزاء المنفصلة المتميزة (شكل ١٢٤) كما في جذور الفول .

والقرع . وتنسج الأشعة النخاعية كثيراً في منطقة اللحاء . حيث تتخذ شكل هودج مقلوب ، رأسه إلى الداخل . أما الأشعة الوعائية فأضيق كثيراً من الأشعة النخاعية ، وتنتهى داخل الخشب واللحاء الثانويين .

(شكل ١٢٤)



قطاع للتمر عرضي في جذر مسن بين المقاطع الثانوي : (١) كامبيوم ، (٢) لحاء ابتدائي ، (٣) خشب ابتدائي ، (٤) لبنة ابتدائية ، (٥) لبنة داخلية ، (٦) لبنة خارجية ، (٧) لبنة ابتدائية (من كسرة)

ولا يختلف كثيراً التركيب العام للخشب واللحاء الثانويين في الجذور عن تركيبهما في الساق ، ويؤدي تكوين الأنسجة الثانوية - كما في الساق - إلى دفع الأنسجة الابتدائية بعيداً عن الكامبيوم .

ويمكن التمييز بين الجنود والسيقان المغلظة تغليظاً ثانوياً بتتبع مسار الأشعة النخاعية عند نهاياتها الداخلية ، فإذا أمكن مشاهدة ترتيب الخشب الأول في هذه الخزم نحو الخارج والخشب التالي نحو الداخل . كان ذلك دليلاً على أن العضو جذر لا ساق .

وتخزن المواد الغذائية في الجذور المتشحمة عادة في خلايا بارنشيمية رقيقة الجدار ، تتكون بوفرة في الخشب واللحاء الثانويين على السواء . وتكون الأوعية مجموعات متفرقة : إما مبعثرة أو مرتبة في صفوف قطرية .

(التغلظ الثانوى فى ذوات الفلقة الواحدة)

التغلظ الثانوى لا وجود له فى ذوات الفلقة الواحدة بوجه عام ، إذ أن الأنسجة الوعائية فى هذه النباتات مهما تقدم بها السن هى أنسجة ابتدائية فحسب . ويتميز النسيج الإنشائى الأولى فى قمة الساق إلى نسيج إنشائى أساسى تخترقه حزم كامبيومية أولية متناثرة فى جميع أجزائه ، لا تلبث أن تتحول جميعها إلى حزم وعائية مستديمة ذات خشب ولحاء فقط . وتستمر استطالة السلاميات حتى بعد أن تصل الساق إلى سمك كبير . وبعد أن تتهبى الاستطالة يظل هناك مجال لزيادة محدودة فى السمك عن طريق كبر الخلايا البارنشيمية للنسيج الأساسى وانقسامها مرة أخرى . بيد أنه يحدث تغلظ ثانوى حقيقى فى قلة من نباتات ذوات الفلقة الواحدة — بين عشبية وخشبية — وخاصة بين أفراد الفصيلة الزنبقية كالصبار (Aloe) والدراسينا (Dracaena) .

ويلاحظ فى الساق الحديثة لنبات الدراسينا ذلك التوزيع المتناثر للحزم الوعائية الابتدائية داخل النسيج الأساسى الذى تتميز به ذوات الفلقة الواحدة عامة على أن المنطقة الخارجية من النسيج الأساسى لهذا النبات تتميز إلى قشرة من خلايا بارنشيمية ، أما الجزء الداخلى فتنتشر فيه الحزم الوعائية الابتدائية .

وعندما يبدأ التغلظ الثانوى ، تتكون حافة كامبيومية ثانوية فى خلايا الطبقة الداخلية من القشرة ، وهى الطبقة المحيطة بالمنطقة الوعائية مباشرة . ويحدث التغلظ الثانوى نتيجة لنشاط هذا النسيج الإنشائى الثانوى وهو الكامبيوم (شكل ١٢٥) .

وفى بعض أنواع النباتات يبدأ تميز هذا الكامبيوم قريباً جداً من القمة النامية ، أى فى طور مبكر . وفى نباتات أخرى — ومن بينها الدراسينا —

والخزم الثانوية بيضية الشكل مع استطالة قليلة في الاتجاه القطري ، بعكس الخزم الابتدائية المستديرة . والخزم هنا مركزية (Concentric) ، يتركب كل منها من لحاء قليل في المركز وخشب كثير يحيط به (شكل ١٢٥) . ولا توجد بالخشب أوعية ، بل يتكون كله من قصيبات ليفية ترافقها خلايا بارنشيمية قليلة مابجنته ، كذلك تتغلظ وتتلجن جدر الخلايا البارنشيمية التي تفصل الخزم ، وبذلك تصبح الأسطوانة الواقعة داخل حلقة الكامبيوم قوية صلدة .

وفي النباتات التي يحدث بسيقانها تغلظ ثانوى . على هذا النحو الذى وصفناه في الدراسينا ، تتغلظ جذورها أيضاً بنفس الطريقة .

أما التغلظ الذى يحدث في قواعد سيقان بعض النجيليات ، فليس ناشئاً عن أى نشاط كامبيومى ، ولكن عن ازدياد تدريجى في حجم الخلايا وحجم الفراغات البينية . وقد يصحب الازدياد في الحجم أحياناً انقسام في الخلايا البارنشيمية يؤدى إلى تكاثر عددها .

(الفلين)

من أهم نتائج التغلظ الثانوى في الجذور والسيقان اتساع المحيط اتساعاً شديداً ، يترتب عليه تعرض الأنسجة الخارجية اشد وتوتر متزايدين . ولما كانت قابلية هذه الأنسجة الخارجية — وهى البشرة والقشرة — للشد والتوتر محدودة فإنها تتمزق عندما تبلغ أقصى حدود توترها ، وبذلك لا تعود البشرة صالحة لأداء وظيفتها كنسيج ضام ، يغطى ما بداخله من أنسجة ويقمها من أضرار العوامل الخارجية . ولهذا يتكون نسيج ثانوى ضام — هو النسيج الفلينى (Cork tissue) — ليحل محل البشرة والأجزاء الخارجية من القشرة الممزقة ، ويقوم بدلاً منها بوظيفة الوقاية والتغليف . ويتكون الفلين نتيجة لنشاط كامبيوم ثانوى يعرف بالكامبيوم الفلينى (Phellogen or cork cambium) ، وهو نسيج خارجى الأصل في السيقان ، إذ ينشأ في معظم النباتات بالطبقة الخارجية من القشرة . وهى

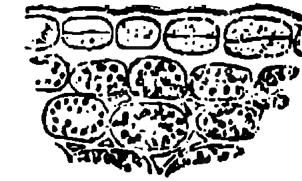
الطبقة التى تقع مباشرة تحت البشرة . وقد ينشأ فى طبقة البشرة نفسها فى قليل من النباتات (شكل ١٢٦ : ١ ، ب) كنباتى الدفلة والصفصاف وكثير من نباتات الفصيلة الوردية ، كالورد والتفاح وغيرهما ، ويندر أن يتكون فى الطبقات الوسطى أو الداخلية من القشرة ، كما يحدث فى نبات البربرى (Berberis) . أما فى الجذور فالكامبيوم الفلينى داخل الأصل غالباً ، إذ يتكون بالطبقة المحيطة فى معظم النباتات ، وقد يتكون أحياناً فى إحدى طبقات القشرة المجاورة للطبقة المحيطة .

وطريقة تكوين الكامبيوم الفلينى متشابهة فى الساق والجذر ، فهو ينشأ من تكوين جدارين محيطيين على التعاقب فى الخلايا المستديمة ، يحصران بينهما خلية إنشائية . ويتكوين هذه الطبقة الإنشائية تنقسم الخلية المستديمة إلى ثلاث خلايا ، أوسطها خلية الكامبيوم الفلينى ، وتمثل الخارجية أولى طبقات الفلين (Cork) والداخلية أولى طبقات القشرة الثانوية (Phelloderm) ، وهى غالباً الطبقة الوحيدة فى هذا النسيج . وخلايا القشرة الثانوية حية تحتفظ بجميع محتوياتها الحية ، وتشبه خلايا القشرة الابتدائية . ولا تنقسم الخليتان الخارجية والداخلية قط بعد تكوينهما بل تتحولان إلى خلايا مستديمة ، أما الخلية الوسطى فتقسم المرة تلو المرة بجدر محيطية ، ثم تتحول إحدى الخليتين الناشئتين من كل انقسام - وهى الخلية الخارجية - إلى خلية فلين ، بينما تظل الأخرى إنشائية ، وتمثل الكامبيوم الفلينى . وفى معظم الحالات تودى الانقسامات المتتالية فى خلايا الكامبيوم الفلينى إلى اقتطاع خلايا مستديمة فى الناحية الخارجية فقط - هى خلايا الفلين - بينما لا يتكون من طبقات القشرة الثانوية إلا الطبقة الأولى وحدها (شكل ١٢٦ : ج) .

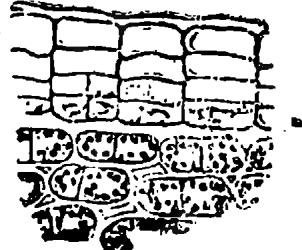
ويودى نشاط الكامبيوم الفلينى إلى تكوين نسيج متصل من صفوف قطرية من الخلايا ، كل صف منها هو نتاج خلية من خلايا ذاك الكامبيوم (شكل ١٢٦ : ب ، ج) ، ويعرف ذلك النسيج بالفلين ، ويتميز بخلوه من الفراغات البينية ، وبتغير مادة جدره الخلوية تغيراً كيميائياً يعرف بالتسوبر

(Suberization) ، ويقال للجدار في هذه الحالة إنها مسوبرة (Suberized) .
أى مكونة من مادة السوبرين ، وهى مادة غير منفذة للسوائل والغازات ،
وإلى هذه الخاصة تعزى فائدة استعمال الفلين كسدادات للقوارير .

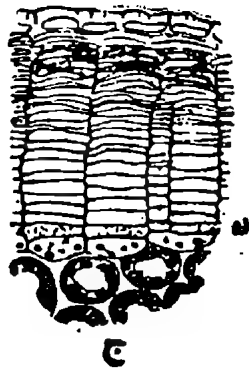
ومن نتائج التسوبر أن تصبح جدر خلايا الفلين غير نفاذة ، فينقطع
(شكل ١٣٠)



ا



ب



ج

خطوات متتالية ل تكون الفلين :

(١) تكون أول جدار محيطى لطبقة السكاميوم
الفلين داخل خلايا البشرة بدان إحدى
النباتات ، (ب) تكون عدة طبقات من
الفلين خارج السكاميوم الفلين ، (ج)
البريدرم ويرى به السكاميوم الفلين (ك)
وبخاوجه عدة طبقات من الفلين مرتبة في
صفوف منتظمة (ل) عن انزواك فانظر إلى .

ورود المساء والأغذية إليها فتموت
وتفقد محتوياتها الحية ، ولذلك فإن
الفلين يصبح نسيجاً ميتاً عند اكتمال
تكوينه . ويعزى التسوبر إلى ترسيب
طبقة من مركبات دهنية على السطح
الداخلى للجدار ، ولذلك فإن خلايا
الفلين تقبل الاصطباغ بنفس الأصباغ
التي تؤثر على الدهون .

ويعرف السكاميوم الفلينى -
وما ينتج عنه من فلين وقشرة ثانوية -
بالبريدرم (Periderm) ، أى البشرة
المحيطة .

وخلايا الفلين مفلطحة ومنضغطة
عادة ، ومرتبعة في صفوف قطرية
منتظمة ، وجدرها رقيقة ، وكثيراً
ما تتموج الجدر القطرية وتثنى ،
بينما تظل الجدر المحيطة مشدودة
ومستقيمة ، ويعزى ذلك إلى الشد
الواقع على هذا النسيج - خارجى
الموقع - فى الاتجاه المحيطى بسبب
التغلظ الثانوى المستمر ، وما يصحبه
من ضغط فى الاتجاه القطرى .

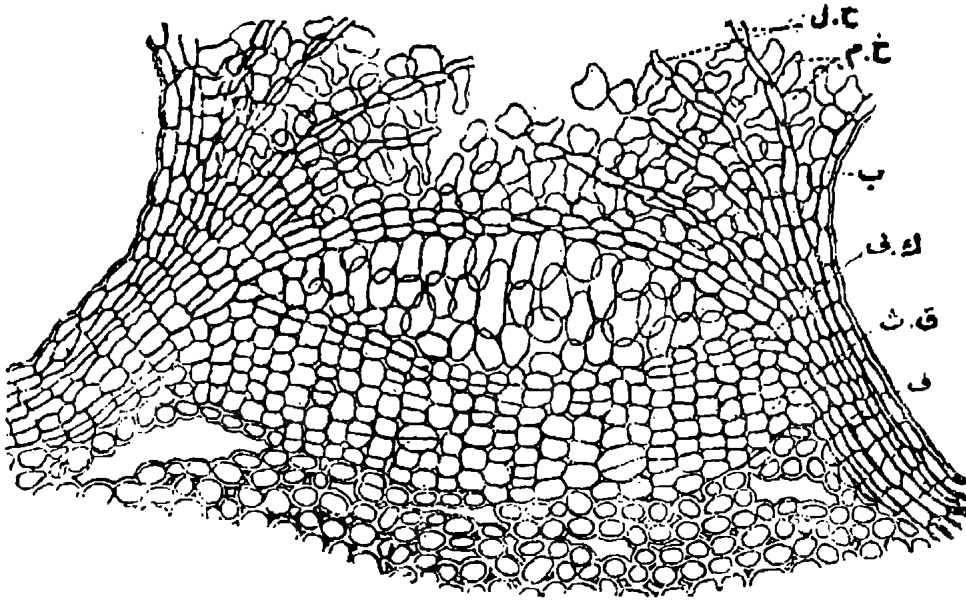
وهناك حالات قليلة ينتج فيها الكامبيوم صفوفاً من خلايا القشرة الثانوية إلى الداخل ، تكون نسيجاً واسعاً متميزاً من خلايا حية تزيد في سمك القشرة الابتدائية ، وتتغلظ خلايا هذه القشرة الثانوية أحياناً لتؤدي وظيفة تدعيمية .

ولا تقتصر أهمية الفلين على حماية النبات من النتح الشديد المترتب على تمزق البشرة وتعري الأنسجة الداخلية نتيجة للتغلظ الثانوي ، بل تتجاوز ذلك إلى وظائف وقائية أخرى . فالحلايا المسبورة تكون على جانب كبير من القوة - ولو أنها قليلة المرونة - ولذلك فإن الفلين يكون غلافاً مقوياً للأعضاء النباتية . ويزيد من كفايته لأداء هذه الوظيفة الميكانيكية الاتصال المحكم وانعدام الفراغات الهوائية بين خلاياه . كما أن وجود طبقة الفلين عند سطح الساق يعمل على حفظ درجة حرارة الأنسجة الداخلية ثابتة . فهو يحول دون الارتفاع الشديد في درجة حرارة تلك الأنسجة أثناء النهار وانخفاضها الشديد أثناء الليل . وبالإضافة إلى كل ذلك فإن الثانين - وغيره من المواد التي ترسب عادة داخل خلايا الفلين - هي مواد مقاومة للآفات ، تمنع دخول الطفيليات المختلفة إلى الأنسجة الحية التي تليها من الداخل .

(العديسات)

عند ما يبدأ تكوين الفلين في عضو ما يصبح ذلك العضو مغلفاً بطبقة واقية غير منفذة للهواء ، تمنع الاتصال المباشر بين الجو والأنسجة الداخلية . ولما كان هذا الاتصال ضرورياً لاستمرار قيام الأنسجة الداخلية الحية بالوظائف الحيوية التي تنطوي على تبادل الغازات ، فإن الغلاف الفليني في السيقان المسنة تتخلله فتحات تعرف بالعديسات (Lenticels) كما في (شكل ١٢٧) ، وظيفتها توصيل الهواء الجوي إلى الأنسجة الداخلية . وتقابل العديسات الثغور في السيقان الحديثة ، وتحل محلها وتؤدي وظائفها .

(شكل ١٢٧)



قطاع مستعرض في عديسة على ساق نبات من جنس المشمش (*Prunus armeniaca*)

يبين : (ج . ع) خلايا مخلفة ، (م . ع) خلايا مفككة ، (ب) بشرة ، (ك . ف) كامبيوم فليبي ، (ق . ث) قشرة ثانوية ، (ف) قلب (عن إيمز وماك دانيلز)

وتنشأ العديسات الأولى عادة تحت الثغور في السيقان الحديثة التي لم تقطع بعد شوطاً بعيداً في التغلط الثانوي ، وذلك بتكوين قطعة من كامبيوم فليبي في الطبقة التي تحت البشرة ، وينشط هذا الكامبيوم في الانقسام بجدر محيطيه ليعطى خلايا إلى الداخل والخارج ، فأما الخلايا الداخلية فتتنظم في صفوف قطرية من القشرة الثانوية وأما الخلايا الخارجية فتظل رقيقة الجدر غير مسورة ، ثم لا تلبث إلا قليلاً حتى تستدير وتتفكك وتنفصل انفصالاً تاماً عن بعضها البعض ويتكون هذا النسيج المفكك (Loose or complementary tissue) بكميات وفيرة ، فيسبب تكونه إنتفاخاً متزايداً وضغطاً على طبقة البشرة يؤديان إلى تمزقها ، وتعرض نسيج العديسة المفكك للهواء الجوي مباشرة ، وبذلك يستطيع الهواء أن يتشرب إلى الداخل. وتختلف درجة تفكك النسيج المفكك في النباتات المختلفة ، ففي بعض النباتات يكون هذا النسيج شديد التفكك وفراغاته البينية كبيرة

إلى حد يجعل العديسة إسفنجية التركيب ، وفي نباتات أخرى تكون خلاياه أقل استداره وتفككاً ، والفراغات التي بينها أشد ضيقاً ، وبذلك تصبح العديسات أكثر تماسكاً واندماجاً ، كما في الصفصاف . وبعد أن يبدأ تكوين الفلين تصبح قطع الكامبيوم القلبي التي تنتج العديسات متصلة بحلقة الكامبيوم القلبي العام .

وفي فصل الشتاء ، عندما يبرد الجو ويصبح الهواء البارد ضاراً بأنسجة النبات الحية ، يعطى الكامبيوم القلبي خلايا فلينية بدلا من النسيج المفكك الذي كان يعطيه من قبل ، وتصطف هذه الخلايا عادة في طبقة أو طبقات من الفلين تستمر طول الشتاء ، وتعرف بالطبقة المغلقة أو النسيج المغلق (Closing tissue) وتتكون هذه الطبقة الفلينية بمنع اتصال الأنسجة الداخلية بالهواء الجوي ، ثم يعود الكامبيوم إلى تكوين خلايا مفككة من جديد في الربيع التالي حين يدفأ الجو ، ويضغط هذا النسيج المفكك المتكون بغزارة على الطبقة المغلقة فيمزقها ، وبذلك يعود الاتصال بين الجو والأنسجة الداخلية كما كان ، وتتكرر هذه العملية مرات عديدة في حياة النبات ، وبذلك تصبح العدسة في الساق المسنة مكونة من أشرطة متعاقبة من الأنسجة المفككة والطبقات المغلقة الممزقة (شكل ١٢٧) ، ويعطى عدد هذه الأشرطة فكرة عن عمر النبات بالتقريب .

(القلف)

عندما يكون الفلين عميقاً داخلي النشأة . تصبح الأنسجة الحية الواقعة خارجه منقطعة الصلة بموارد الماء والغذاء التي تأتيا من الداخل ، ولذلك لا تلبث أن تموت ، فتجف وتتساقط ، ويتعرض الفلين على السطح مباشرة ، وتسمى هذه الأنسجة الميتة - بما فيها للبشرة - بالقلف (Bark) ، وتختلف كمية الأنسجة التي يشملها القلف حسب موقع الكامبيوم القلبي ، فإذا كان خارجياً شمل طبقة البشرة وحدها ، وإذا كان داخلياً شمل القشرة أيضاً ، كلها أو بعضها .

وفي بعض النباتات — كأشجار الزان (*Fagus*) وأشجار القان (*Betula*) — يستمر نشاط الكامبيوم الفليني الأول طول حياة النبات ، مع التوقف شتاء واستئناف النشاط في الربيع . وفي هذه الحالة يزداد محيط الكامبيوم باستمرار ليلاحق الازدياد المضطرب في محيط الساق نتيجة للتغلظ الثانوي ، وذلك بانقسام خلاياه بجدر قطرية وكبر الخلايا الناتجة . وينشأ عن نشاط الكامبيوم الفليني في هذه الحالة تكوين كتلة سميكة من الفلين على سطح الساق .

أما في معظم النباتات الخشبية فإن نشاط الكامبيوم الفليني الأول يتوقف بعد فترة وجيزة ، ويتحول هو نفسه إلى طبقة من الفلين ، ويتكون كامبيوم ثان أكثر عمقا داخل القشرة ، ينتج بدوره منطقة جديدة من الفلين ، ثم لا يلبث الكامبيوم الثاني أن يبطل عمله هو الآخر ، ليتكون من بعده كامبيوم ثالث يعطى فليناً جديداً ، وهكذا . وبذلك يصبح الفلين مكوناً من طبقات متبادلة ومتعاقبة من الفلين والقشرة الميتة ، تشمل جميع الأنسجة الواقعة خارج أحدث حلقات الكامبيوم الفليني .

وإذا كان الكامبيوم الأول عميق الموضع ، فإن الكامبيومات التالية تكون على هيئة أسطوانات كاملة ، أما إذا كان سطحياً فإن الكامبيومات التالية تكون مجرد صفائح رأسية مستقلة ، تتلاقحوا فيها وترتكز على بعضها البعض . وكلما زاد سمك القلف زاد التوتر الواقع على الأنسجة الخارجية ، ولذلك تظهر تشققات طولية على سطح الساق ، تشاهد في كثير من الأشجار ، كالتوت مثلاً . على أن الأغلب أن تنساقط الأجزاء الخارجية من القلف دون أن تتشقق ، إما على هيئة حلقات كاملة إذا كان الكامبيوم الفليني أسطوانات كاملة ، كما في شجر الكريز والقان والعنب ، ويعرف القلف في هذه الحالة بالقلف الحلقي (*Ring bark*) ، أو على هيئة حراشيف تمثل كل حشفة منها جزءاً من المحيط — لا المحيط كله — كما في أشجار الصنوبر والبلوط والكافور حيث يتخذ الكامبيوم الفليني شكل صفائح رأسية ، وفي هذه الحالة يسمى القلف « قلفاً حرسفياً » (*Scale bark*) ، وفيه يكون الجزء الأول من الحشفة

فأوازيها لسطح الساق ، أما الحوافي فتنتشي إلى الخارج حتى تلتقي بالقشور الأقدم منها والتي تقع خارجها .

وفي نبات البلوط الفلينى (*Quercus suber*) - الذى يعتبر المصدر الرئيسى للفلين التجارى - يتكون الفلين الأول من كامبيوم ينشأ من الطبقة الواقعة تحت البشرة ، وليست لهذا الفلين قيمة صناعية تذكر . ولذلك ينزع عندما تبلغ الشجرة ١٠ - ١٥ سنة من عمرها ، فتتعرض القشرة ، وتأخذ في تكوين كامبيوم فلينى جديد ، هو الذى ينتج الفلين التجارى ذا الجدر الخلوية الرقيقة ، وينزع هذا الفلين عن الشجرة على فترات تتراوح بين ثمان سنوات وإثنتى عشرة سنة .

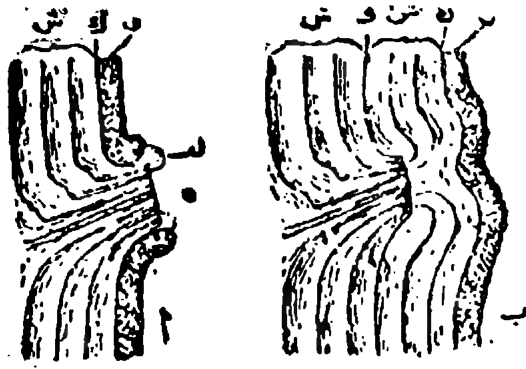
وبعد سقوط الفلين المبكر ، يمكن أن تتكون عديسات جديدة من أى جزء من حلقة الكامبيوم الفلينى النشط .

(التثام الجروح)

رأينا مما تقدم أن أهم الأغراض التى يؤدىها الفلين هى وقاية الأنسجة الداخلية الحية من المؤثرات الخارجية ، لذلك إذا جرحت ساق عشبية أو درنة أو ورقة ، فإن السطوح الخارجية للخلايا المعرضة تتسوبر ، ثم يمتد هذا التسوبر إلى الداخل عدة طبقات ، وبعد ذلك ينشط الانقسام فى الخلايا الحية الواقعة تحت هذه الطبقات لتكوين كامبيوم فلينى ، يعطى بضع طبقات من الفلين فى الناحية الخارجية ، وبذلك يلتئم الجرح .

وفي كثير من النباتات الخشبية المعمرة - وخاصة النباتات الشجرية والشجيرية - تلتم الجروح العميقة التى تصل إلى الخشب بتكوين نسيج يعرف بالكالوس (ل - شكل ١٢٨ : أ) ، وينشأ من الكامبيوم الذى يتعرض للخارج بسبب الجرح أو قطع الفرع الجانبى مثلاً ، حيث ينتج هذا الكامبيوم خلايا بارنشيمية طرية ، تتغلظ الخارجية منها تدريجياً بترسب مادة السوبرين على جدرها الأصلية . ويستمر زحف هذا الكالوس فوق سطح الجرح

(شكل ١٢٨)



قطاع طولي في جزء من ساق بين
النشام الجرح الناتج عن قطع فرع جانبي .
(أ) رسم تخطيطي يبين تكوين الكالوس ،
(ب) رسم تخطيطي يبين النشام الجرح
بعد ثلاث سنوات ، (ش) خشب ،
(ش . ك) خشب مضاف ، (ق) قاف ،
(ك) كامبيوم ، (ل) كالوس ، (و) موضع
الكامبيوم وقت قطع الفرع الجانبي (عن
روية وريكت) .

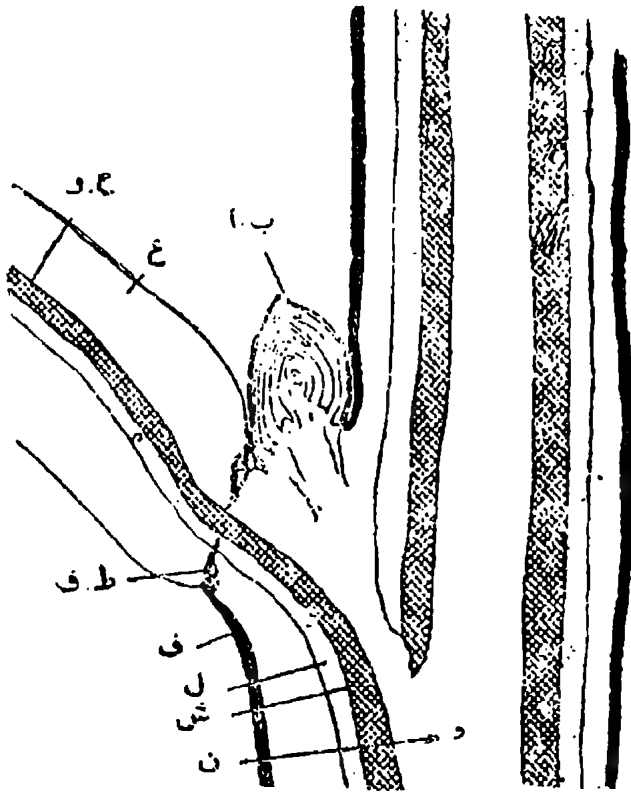
حتى يغطيه تماماً . وفي بعض
الأحيان ينشأ كامبيوم فليتي
في الطبقات الخارجية من
الكالوس يؤدي إلى تكوين
طبقات من الفلين على سطح
الجرح ، ومن داخل البريديرم
يتكون كامبيوم وعائي من
خلايا الكالوس الداخلية
الحية ، متمما للأسطوانة
الكامبيومية في هذا الجزء
المجروح . ويعطى ذلك
الكامبيوم الوعائي خشبا
ثانويا إلى الداخل ، وباستمرار
التغلظ الثانوي - وتكون

خشب جديد عاما بعد عام - يندمل الجرح ، ويندمج الجزء المجروح في
الخشب الثانوي المتكون حوله اندماجا تاما (شكل ١٢٨ : ب) .

(سقوط الأوراق)

يسبق سقوط الأوراق التي تنهى فترة حياتها - سواء في النباتات دائمة
الخضرة أو ذوات الأوراق المتساقطة - تكون طبقة انفصال (Abscission layer)
محددة عند قاعدة العنق (ط . ف ، شكل ١٢٩) ، تتميز بصغر خلاياها
ورقة جذرها وغزارة محتوياتها الحية ولذلك فهي تمثل موضع ضعف في عنق
الورقة ويمكن الاستدلال على موضعها من الخارج بوجود تخصر طفيف .
وتطراً على جدر الخلايا في هذه الطبقة تغيرات كيميائية تحول الصفائح
الوسطى - التي بين الخلايا المتجاورة - إلى طبقات مخاطية ، لاتلبث أن تذوب

(شکل ۱.۲۹)



فيؤدي ذوبانها إلى تفكك الحلايا وانفصالها، وإذا ذلك يصبح اتصال الورقة بالساق مقصوراً على البشرة والحزم الوعائية. وتكون تحت طبقة الانفصال طبقة واقية من الفلين، تتصل فيما بينها بالفلين الذي يغلف الساق. ولا تقوى الحزم الوعائية طويلاً على مغالبة الرياح، بل تنقطع بعد فترة وجيزة من تكوين طبقة

رسم توضيحي يبين اتصال عنق إحدى الأوراق بالناق
وموضم طبقة الانفصال الفلينية : (ب . ا) برغم إبطى ،
(ع) عنق الورقة ، (ح . و) حزمة وعائية ، (ط . ب)
طبقة انفصال ، (ف) فلين ، (ل) لحاء ، (ش) خشب ،
(ن) نخاع (عن سميت)

الانفصال والطبقة الفلينية ، وبذلك تنفصل الورقة وتهى . وبعد سقوط الورقة يكون هناك سطح فليني أملس عند موضع الانفصال لا تقطع اتصاله إلا الحزم الوعائية المتقطعة التي كانت توصل الورقة بالساق ولا تلبث تجاوزيف الأوعية في هذه الحزم أن تسدها التيلوزات .

1

الباب الثالث عشر

تأثير البيئة على التركيب التشريحي للنبات

للبيئة التي يعيش فيها النبات أثر كبير على شكله الظاهري وتركيبه التشريحي ، وبعد الماء أهم عوامل البيئة من هذه الناحية ، فالنبات الذي يعيش في الماء يختلف كثيراً في صفاته الشكلية والتشريحية عن النبات الأرضي الذي يعيش في بيئة جافة . والوصف التشريحي الذي أوردناه في الأبواب السابقة ينطبق على النباتات الأرضية التي تعيش في بيئات متوسطة الرطوبة (Mesophytes) ، أما النباتات المتطرفة الرطوبة أو الجفاف فإن عامل الماء يتدخل ليحور التركيب التشريحي العام بما يلائم ظروف البيئة ، ويجعل النبات قادراً على احتمالها والحياة فيها . وسنورد فيما يلي أمثلة لتأثير البيئة على التركيب التشريحي للنباتات المائية (Hydrophytes) والنباتات الجافة (Xerophytes) .

(النباتات المائية)

تعيش بعض النباتات المائية مغمورة كلية في الماء ، بينما يطفو بعضها الآخر بأوراقه أو بعض مجموعة الخضرى فوق سطح الماء . ومن أمثلة النباتات المغمورة نباتات الإيلوديا (Elodea) ونخشوش الحوت (Ceratophyllum) ولسان البحر (Potamogeton) . أما النباتات الطافية فمنها الزقمة (Pistia) stratoites والياسنت المائى (Eichhornia crassipes) والبشنين (Nymphaea) . وتختلف النباتات المغمورة في شكلها وتركيبها اختلافاً كبيراً عن النباتات الأرضية متوسطة الرطوبة (Mesophytes) . وأهم ما تعانيه النباتات المغمورة صعوبة الحصول على الأكسجين من الوسط المائى الذي يكتنفها من كل جانب وذلك لقلة الذائب منه في الماء . فبينما يجترى اللتر من الهواء الجوى على ٢١٠ سم^٣ من الأكسجين فإن اللتر من الماء لا يذيب أكثر من ٦ سم^٣ من ذلك الغاز ،

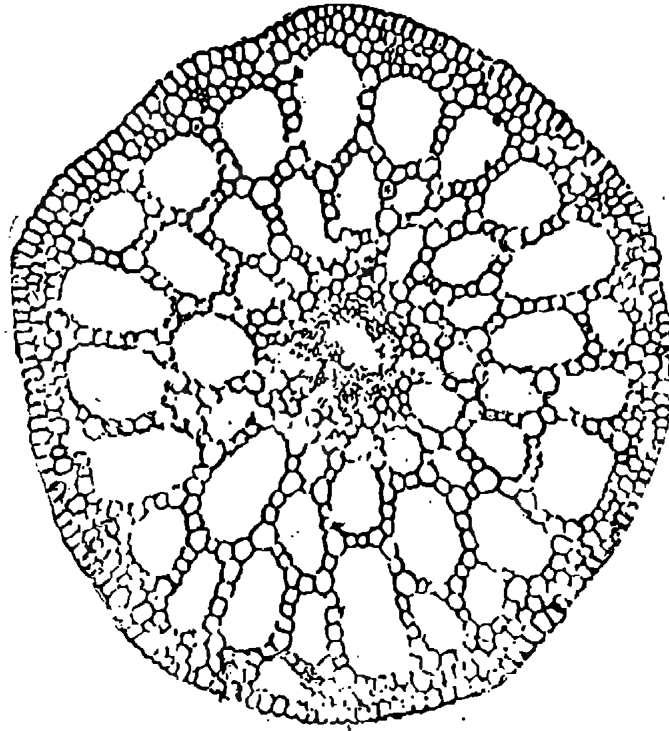
وقد يقل الموجود منه فعلاً بالماء عن ذلك بكثير ، وخاصة في الماء الراكد . وانتشار الأكسجين في الوسط المائي بطيء جداً إذا قورن بانتشاره في الهواء ، وللتغلب على هذه الصعوبة تتحول الأنسجة البارنشيمية في هذه النباتات إلى « نسيج تهوية » (Aerenchyma) ، به ممرات هوائية واسعة تمتد من الجذور إلى السيقان حتى تصل إلى الأوراق . ولا تقتصر فائدة هذه الممرات على تقليل الكثافة النوعية للنباتات المائية ومساعدتها على البقاء في الماء قريبة من الضوء ، ولكنها تمثل مستودعات تحتزن بها الغازات اللازمة لعمليات التبادل الغازي ، فيخزن بها غاز الأكسجين المتخلف من عملية البناء الضوئي لاستعماله في التنفس ، كما يتجمع بها ثاني أكسيد الكربون المتخلف من عملية التنفس أثناء الليل ، حيث يستعمل في عملية البناء الضوئي في نهار اليوم التالي .

ويصاحب هذا التحسين في جهاز التهوية اختزال في جهازى التدعيم والتوصيل ، فيقل عدد الحزم الوعائية ، كما يقل عدد الأوعية في أنسجة الخشب ويقل تغلظها . وفي كثير من النباتات يختزل عدد الحزم إلى حزمة واحدة مركزية بسيطة التركيب ، ويرجع السبب في اختزال جهاز التوصيل إلى أن النباتات المائية تمتص الماء بجميع سطحها ، ولذلك لا تعاني صعوبة في الحصول على كفايتها منه ، كما أنها لا تحتاج إلى تكوين أوعية كثيرة لتوصيله كما في حالة النباتات الأرضية .

أما من ناحية التدعيم فليس ثمة أنسجة كولانشيمية أو سكلرنشيمية تذكر في النباتات المائية ، لأن تلك النباتات لا تحتاج إلى تدعيم ، فهي تلقى سنداً قوياً من الماء الذى يغمرها ، ولا يتعرض مجموعها الخضرى لرياح تدفعها ذات اليمين وذات اليسار ، كما لا يتعرض مجموعها الجذرى لعامل الشد الذى تتعرض له جذور النباتات الأرضية .

وانضرب مثلاً للنباتات المائية المغمورة نبات الإلوديا (Elodea) .

(شكل ١٣٠)



نطاق مستعرض في ساق نبات الإلوديا

التركيب الداخلي لساق الإلوديا :

في القطاع المستعرض لساق الإلوديا (شكل ١٣٠) نشاهد على السطح بشرة من طبقة واحدة من خلايا ذات جدر سليبوزية رقيقة ، خالية من الثغور والشعيرات السطحية ، وغير مغطاة بأدمة . ونظراً لعدم وجود كيويتين أو سوبرين على سطوح السيقان والأوراق فإن تلك الأعضاء المغمورة تستطيع امتصاص الماء والأملاح الذائبة فيه بجميع سطحها المغمور ، كما تستطيع أيضاً امتصاص الغازات اللازمة ، وهي الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون ، وتقتصر وظيفة البشرة هنا على مجرد الوقاية - كما في النباتات الأرضية - إذ أن خلاياها تحتوي على بلاستيدات خضراء وتساهم في عملية البناء الضوئي ، خاصة إذا كانت الأوراق رفيعة مشرحة ، كما هو الغالب في هذه النباتات ، وفي حالات نادرة توجد ثغور قليلة ناقصة التكوين أو ضامرة ، لا يحدث

عن طريقها تبادل غازى ، وإنما يحدث ذلك التبادل مباشرة عن طريق الجذر الخلوي لطبقة البشرة .

وتلى البشرة قشرة واسعة تشبه فى اتساعها قشرة الجذور فى النباتات الأرضية ، بها طبقات عديدة من خلايا بارنشيمية هوائية رقيقة الجدر - خالية من أى تلجن - تجعلها إسفنجية التركيب . ويتكون الجزء الخارجى من القشرة من طبقتين تقريباً من خلايا بارنشيمية متماسكة ضيقة الفراغات . بينما الجزء الأوسط منطقة واسعة من بارنشيمية هوائية ، تتناثر فيها قنوات هوائية (Lacunae) كبيرة مملئة بالغازات ، تفصلها عن بعضها البعض حواجز أو أغشية رقيقة ، سمك كل منها طبقة واحدة من الخلايا . وفى الطرف الداخلى للقشرة تماسك الخلايا وتضغق القنوات كما فى الجهة الخارجية . وتحتوى جميع خلايا القشرة على بلاستيدات خضراء ، يمتد وجودها حتى البشرة الداخلية ولا توجد بالقشرة أنسجة كولنشيمية كذلك التى توجد عادة بقشرة النباتات الأرضية الوسطية . وتنتهى من الداخل بالبشرة الداخلية ، وهى طبقة واحدة ترسب على جدرها القطرية أشربة كاسبار ، وتشبه البشرة الداخلية لجذور ذوات الفلقتين ، وتتكون بها حبيبات نشوية .

وفى مركز الساق توجد الأسطوانة الوعائية ، وهى ضيقة جداً إذا قورنت بالقشرة ، ولا توجد بها حزم ليفية وعائية كذلك التى توجد عادة بالنباتات الأرضية ، وإنما تتكون من حزمة واحدة من عناصر غير ملجننة ، بوسطها فجوة تمثل الخشب ، وهو هنا مختزل كل الاختزال ، وذلك لأن وظيفة توصيل الماء لا يحتاج إليها النبات المغمور كحاجة النباتات الأرضية إليها ، وتحدد الفجوة المركزية موضع الخشب فحسب ، وهى لا تختلف عن الغرف الهوائية إلا فى كونها أضيق منها كثيراً ، أما اللحاء - فبرغم أنه أقل كمية منه فى النباتات الأرضية - فهو ممثل تمثيلاً جيداً إذا قورن بالخشب ، ويشبه بوجه عام لحاء النباتات العشبية من حيث صغر الأنايب الغربالية إذا قورنت بنظائرها فى النباتات الخشبية . أما بارنشيمية الخشب فكبيرة الحجم لدرجة تميزها عن نظائرها فى أعضاء النباتات الأرضية .

(النباتات الجفافية)

تعيش هذه النباتات في جفاف من التربة والجو ، ولهذا تتركز تحوراتها الشكلية والتشريحية على ما يكفل احتفاظها بالتوازن المائي في أنسجتها ، أى بالتوازن بين النتج والامتصاص . فالهواء الحار الجاف الذى يحيط بمجموعها الخضرى من شأنه أن ينشط النتج ، بينما يعمل نقص المحتوى المائي للتربة على تقليل الامتصاص ، ولهذا تلجأ النباتات الجفافية الحقيقية - كمعظم نباتات

(شكل ١٣١)



قطعة من نبات الرثم ، مكونة من ساق خضراء غليظة عدسة الاوراق وثورة جانبية .

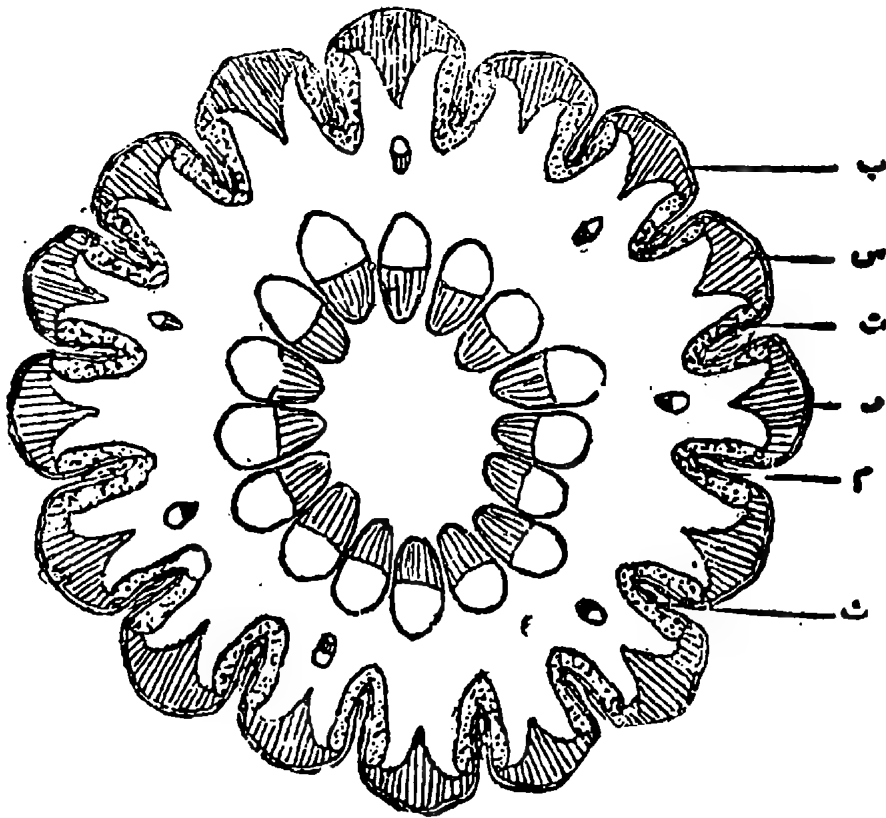
الصحراء - إلى اختزال المجموع الخضرى الناتج مع التوسع في إنتاج الجذور وتكوين المجموع الجذرى ، مما يقلل النتج الكلى ، كما يقلل النسبة بين النتج والامتصاص ، وفى الوقت نفسه يلجأ النبات الجفافي إلى ضروب مختلفة من التحورات الشكلية والتركيبية ، من شأنها أن تنقص معدل النتج وتقلل تبخر الماء من سطح النبات . ومن بين هذه الصفات الجفافية زيادة سمك الأدمة أو بطبقة من الشمع أو بشعيرات غزيرة ، مما يقلل النتج الأدمى كثيراً . ومنها انخفاض الثغور عن المستوى العام للسطح الناتج أو وجودها في فجوات عميقة لاتصل بالهواء الجوى الجاف اتصالاً مباشراً ، مما يقلل معدل النتج الثغرى . ومنها وجود طبقة سميكة من الفلين تغطي أعضاء النبات الأرضية وتقيها من امتصاص التربة لمائها وذلك لأن التربة الجافة لها قوة امتصاص كبيرة تمكنها من سحب كمية كبيرة من الماء من أنسجة النبات ، ومنها أيضاً تغطية الأجزاء المسنة من الساق بطبقة سميكة من الفلين للوقاية من الجفاف .

ولدراسة أمثلة من الخصائص التشريحية الجفافية يمكن فحص قطاعات مستعرضة في سيقان الرتم والخابزوارينا ، وفي أوراق الدفلة وقصب الرمال.

التركيب الداخلي لساق الرتم :

يعد نبات الرتم (*Retama raetam*) من أكثر نباتاتنا الصحراوية انتشاراً . وهو عديم الأوراق . سيقانه الطرفية خضراء رفيعة مستديرة (شكل ١٣١) تؤدي وظيفة التمثيل الكربوني عوضاً عن الأوراق . وأول ما يستلفت النظر عند فحص قطاع مستعرض في إحدى هذه السيقان الرفيعة الخضراء (شكل ١ٳ٢) وفرة العناصر الميكانيكية والتوصيلية . ووجود بروزات متعاقبة في سطح الساق تفصلها تجاويف عميقة ضيقة تجعل السطح غير

(شكل ١٣٢)



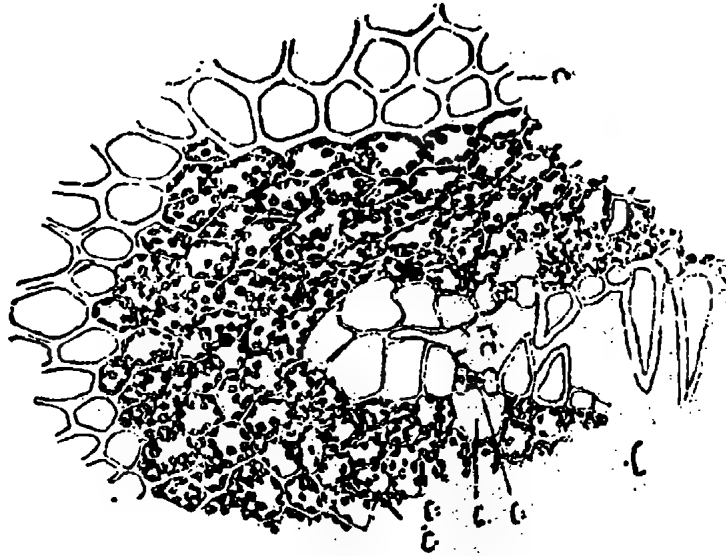
١ رسم تخطيطي للقطاع مستعرض في ساق الرتم يبين : (ب) البعرة ، (س) سكرنشي ، (ن) نسج تمثيل ، (د) بروز ، (م) تجويف ، (ث) نفور

مستو . وتغطي البشرة بأدمة سميكة ، كما تنحصر الثغور في التجاويف ، وتقع في منطقة من خلايا بارنشيمية تمثيلية رقيقة الجدر وممتلئة بالبلاستيدات الخضراء . وتحمي الثغور وفتحات التجاويف شعيرات سطحية تساعد على تقليل النتح ، وإضعاف أثر الهواء الجوى الجاف . وفي البروزات توجد أنسجة سكلرنشيمية تحت البشرة . وتتكون الأسطوانة الوعائية من حزم مرتبة في حلقة واحدة ، تحتوى كل حزمة منها على خشب ثانوى إلى جانب الخشب الابتدائى ، وبالشب قدر وغير من العناصر الملجنة .

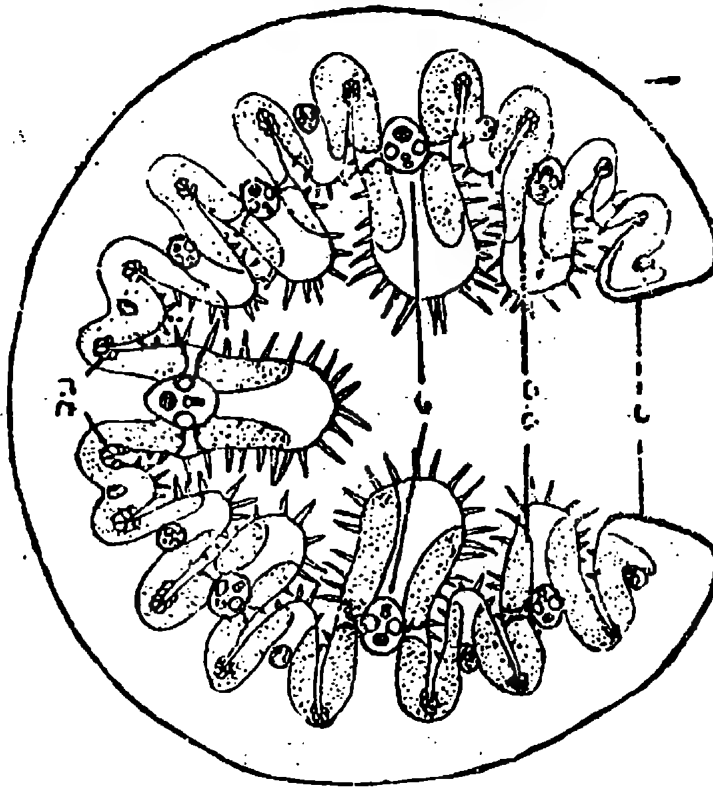
التركيب الداخلى لورقة قصب الرمال :

قصب الرمال « *Ammophila* (= *Calamagrostis*) *arenaria* » هو أحد أفراد الفصيلة النجيلية ، ويوجد بكثرة على الكثبان الرملية الساحلية ، خاصة على ساحل البحر الأبيض المتوسط فى مريوط وشمال الصحراء الغربية . ولهذا النبات أوراق طويلة . تلتف على نفسها من ناحية السطح العلوى ، بحيث لا يتعرض ذلك السطح - الذى يحمل الثغور - لجفاف فى وسط النهار . وإذا عمل قطاع مستعرض فى نصل هذه الورقة الملتفة وفحص بالمجهر ، فإنه يلاحظ التفاف الورقة بشكل يجعل السطح السفلى خارجياً معرضاً والسطح العلوى داخلياً محتبثاً (شكل ١٣٣) . وتغطي البشرة السفلى بأدمة سميكة ، وتكون خالية من الثغور خلواً تماماً . أما السطح العلوى فغير مستو به بروزات وتجاويف متبادلة ، وتحتوى الأخيرة اختباء محكما ، وتنظم على جوانبها الأنسجة التمثيلية بخلاياها البارنشيمية ذات الجدر الرقيقة والبلاستيدات الغزيرة . وتوجد بكل بروز حزمة وعائية مغلقة من نوع الحزم المميزة للنوات الفلقة الواحدة ، يتجه لحاؤها ناحية السطح السفلى للورقة بينما يتجه الخشب ناحية السطح العلوى المحتبث . ويحيط بالحزمة غمد سكلرنشيمى متصل من فوقه ومن تحته بشريط من أنسجة ملجنة تصل إلى البشريتين ، وتوجد أيضاً شعيرات حادة قوية تنشأ من خلايا البشرة العليا ، وتحمي فتحات التجاويف التى بها الثغور والأنسجة التمثيلية الرقيقة ، فتقل تعرضها للهواء الجوى الجاف

وبذلك يقل التتح وتضام الأنسجة من الجفاف . كما تشاهد أيضاً عند قاع التجاويف خلايا مفصلية (Hinge cells) وظيفتها المعاونة على تفتح الورقة عندما تزداد الرطوبة ويقل الجفاف وتنتفخ الخلايا ، والتفافها عندما تقل الرطوبة ويزيد الجفاف وتقلص الخلايا .



(شكل ١٣٣)



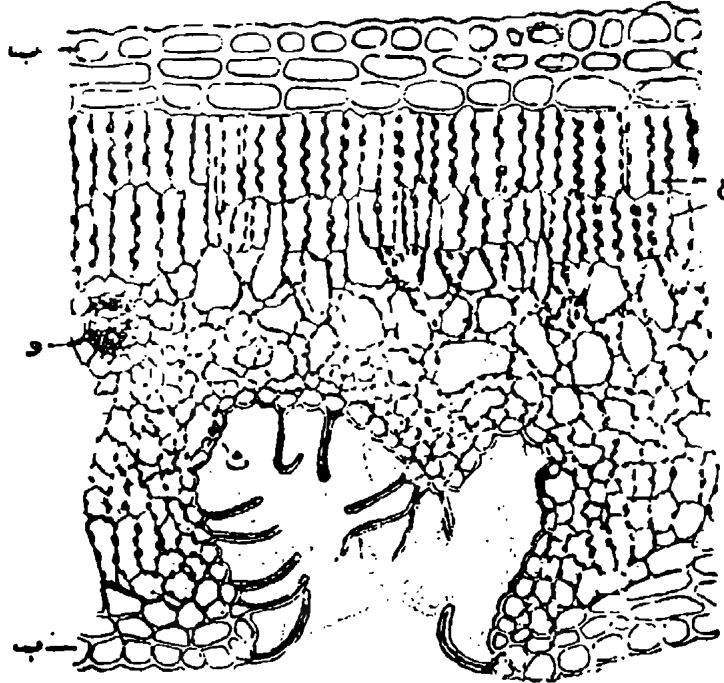
التركيب الداخلي لورقة نبات صلب الرمال كما يتبين من رسم التخطيط لأطراف متعرض فيها (أ) وفي جزء
تحتوي من الأقسام (ب) : (د) أديم ، (ن . ت) نسيج عتيل ، (و) حزمة وعائية ، (ح . خ) حزمة مفصلية
(ت) ثمر ، (ب) بقية قشرية ، (ج) خلية بدائية (من فركس وساليسوري) .

التشكل الجفافي والتركيب التشريحي لنبات الدفلة :

لا يقتصر التشكل الجفافي - ممثلاً في الثغور الغائرة المختبئة داخل تجاويف من سطح البشرة - على نباتات الأراضي الجافة وحدها ، كنبات الرتم وقصب لرمال ، بل يوجد أيضاً في بعض نباتات الأراضي الرطبة كنبات الدفلة (*Nerium oleander*) الذي يزرع في حدائق الزينة ، ويعيش على جوانب البرع والقنوات في مجبوحة من الماء . ويعتبر التشكل الجفافي في تلك الحالة من الصفات الوراثية الملازمة للنبات أكثر منه استجابة وملاءمة لظروف الوسط الذي يعيش فيه .

ولذا فحص بالمجهر قطاع مستعرض في ورقة الدفلة (شكل ١٣٤) ، لوحظ وجود تجاويف كثيرة على السطح السفلي تخرج منها شعيرات غزيرة . وتمتد هذه التجاويف إلى الداخل مسافة تقرب من ثلث سمك الورقة ، وتمثل الشعيرات امتدادات لخلايا البشرة المبطننة للتجاويف . وبوجود الثغور داخل

(شكل ١٣٤)



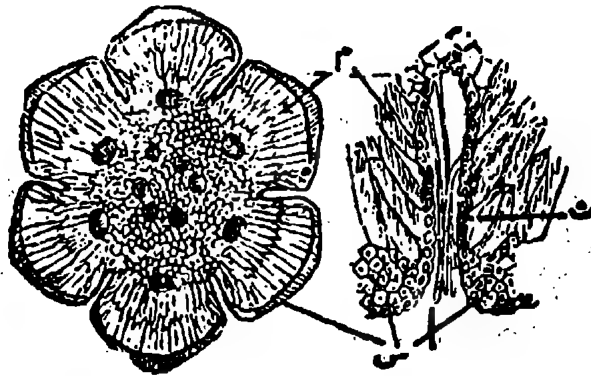
قطاع مستعرض في ورقة الدفلة : (ب) خلية ، (ج) خلايا عمادية ، (د) خلايا مبطننة ، (هـ) حزمة وعائية ، (ف) قشر (عن فرتش وسيموري)

تجاويف تظللها الشعيرات السطحية تصبح محاطة بهواء معتدل الحرارة مرتفع الرطوبة . وتتميز أوراق الدفلة زيادة على ذلك بأدمة سميكة على السطح العلوى المعرض . وتكثر بالنسيج الأسفنجى الفراغات الهوائية الواسعة ، والشبيهة بفراغات النباتات المائية ، كذلك توجد تحت البشرة طبقتان من خلايا مخزنة للماء ، وتحتوى الأوراق على طبقة عمادية واحدة .

التشكل الجفافي والتركيب التشريحي لسيقان الكازوارينا :

يعتبر التشكل الجفافي الذى يشاهد فى فروع الكازوارينا (*Casuarina*) الطرفية الخضراء مثلاً آخر للتشكلات الموروثة ، ونبات الكازوارينا نوع من الأشجار الخشبية التى تزرع بوفرة فى بلادنا للانتفاع بأخشابها ، كما تستغل كأسوار وتزرع على جوانب الطرق العامة للظل والزينة . ويعيش هذا النبات دائماً تحت ظروف الرطوبة الوفيرة بالتربة ، ولا يستطيع أن يعيش بالأراضي الجافة على الإطلاق ، ولا يوجد برياً فى البيئة الصحراوية ، وهو يحمل أوراقاً حشفية صغيرة لا تقوم بوظيفة البناء الضوئى .

(شكل ١٣٥)



قطاع مستعرض (إلى اليسار) فى ساق الكازوارينا وفى أحد تجاويفه (إلى اليمين)
(ث) ثفر ، (م) خلية عمادية ، (س) خلية سكرية (عن فرنش وسالورى) .

وتقوم بتلك الوظيفة عوضا عنها فروع الصغيرة الخضراء . وإذا قطع في أحد هذه الفروع قطاع مستعرض وفحص بالمجهر ، لوحظ وجود تجاويف على سطحه (شكل ١٣٥) تحتمى الثغور بداخلها ، وينحصر وجودها فيها ، وتحتمى تلك الثغور وتجاويفها شعيرات كثيفة ، وتقع الثغور على جوانب التجاويف ، في مناطق الأنسجة التمثيلية التي تغطي هذه الجوانب من الداخل . وفي ذلك تشبه الكازوارينا النباتات الأخرى التي سبق شرحها كالرتم وقصب الرمال . وتوجد بالبروزات أنسجة سكلر نشيمية تحت البشرة مباشرة ، ومن تحته عدة طبقات من خلايا عمادية . وفي وسط الساق توجد حلقتان من الخزم الوعائية ، وعند أسفل التجاويف توجد خلايا بارنشيمية رقيقة الجدر ، تتصل بالأنسجة التمثيلية العمادية . والبشرة مغلظة الجدران ملجننة في البروزات ، ولكنها تصبح رقيقة الجدر غير ملجننة على جوانب التجاويف ، حيث توجد الثغور .



القسم الثالث

النبات التقسيمى

(Systematic Botany)

بسم الله الرحمن الرحيم

الباب الرابع عشر

تقسيم المملكة النباتية

تنقسم المملكة النباتية إلى تحت – مملكتين رئيسيتين (Subkingdoms) بحسب مدى التركيب الدقيق للنواة في الخلايا التي يتكون منها النبات ، وما إذا كانت هذه النواة بدائية (Prokaryotic) أو حقيقية (Eukaryotic) والاختلاف بينهما كبير للغاية بحيث صنف النباتات ذوات الخلايا بدائية النواة في تحت – مملكة خاصة أطلق عليها اسم « بدائيات النواة » Prokaryota والنباتات ذوات الخلايا حقيقية النواة في تحت – مملكة أخرى أطلق عليها اسم « حقيقيات النواة Eukaryota » .

وتتميز الخلايا التي ترتقي في تعقيدها إلى مستوى حقيقية النواة (Eukaryotic level) باحتوائها على نواة محددة ، يفصل ما بينها وبين سيتوبلازم الخلية غلاف نووي غشائي واضح ، وتحتوي بداخلها على نوية (nucleolus) واحدة أو أكثر ، وتشكل مادتها الكروماتينية أثناء الانقسامات إلى خيوط تسمى كروموسومات (أو صبغيات) محددة الأعداد والأشكال وشديدة القابلية للاصطباج . أما الخلايا ذوات مستوى التعضي بدائي النواة فتختلف عن ذلك تمام الاختلاف ، إذ لا تحتوي إلا على مادة كروماتينية غير متميزة الأجزاء ، يطلق عليها أحياناً اسم شبه نواة (nucleoid) ، لا يفصلها عن السيتوبلازم أى غشاء ، ولكنها تكون قابلة للاصطباج ، وتفتقر إلى القدرة على التشكل في هيئة كروموسومات محددة أثناء انقسام الخلية . أما ما يرتبط بهذه الاختلافات النووية – من حيث البدائية أو الحقيقية – من اختلافات جوهريّة في تراكيب عضيات الخلية فقد سبقت الإشارة إليها تفصيلاً في باب سابق .

بدائيات النواة

PROKARYOTA

(=PROKARYOTES)

تضم بدائيات النواة أقسام البكتريا والفيروسات والطحالب الخضراء المزرقة . ويتفق البيولوجيون على أن بدائيات النواة أقدم في نشأتها من حقيقيات النواة ، وتعتبر أسلافاً لها . وفيما يلي مقارنة مختصرة بين حقيقيات النواة وبدائيات النواة .

بدائيات النواة

حقيقيات النواة

١ - البروتوبلازم أكثر سيولة ، به ١ - البروتوبلازم أكثر صلابة ، فجوات ، أكبر حساسية للعوامل عديم الفجوات ، أكثر مقاومة التجفيف والعوامل الأوزموزية لعوامل التجفيف والعوامل الأوزموزية والحرارية .

٢ - توجد بها عضيات بروتوبلازمية ٢ - لا وجود لها للعضيات البروتوبلازمية مختلفة الأنواع مغلفة بأغشية داخل المغلفة بأغشية . السيتوبلازم .

٣ - النواة ذات تركيب داخلي معقد ٣ - النواة - إن وجدت - تكون بسيطة نسبياً في تركيبها ولا يغلفها وغشائها محدد . غشاء محدد .

٤ - توجد بالصبغيات عادة بروتينات ٤ - المادة الكروماتينية خالية من نسيجية (histone proteins) . البروتينات النسيجية ، بل وليس وتعتبر من مكوناتها الداخلية بها بروتينات من أى نوع . الهامة .

٥ - الانقسام الخلوى ميتوزى (mitotic) ٥ - الانقسام الخلوى لاميتوزى (amitotic)

٦ - تحدث بها غالباً عمليات جنسية ٦ - لا تحدث بها عمليات جنسية
نموذجية تتضمن انحداد أنوية نموذجية ولكن المادة الوراثية
يعقبه انقسام اختزالي . تنتقل أحياناً بعمليات جنسية
أخرى جانبية .

٧ - الأهداب - إن وجدت - ٧ - الأهداب - إن وجدت - بسيطة
معقدة التركيب . التركيب نسبياً .

٨ - لا تستطيع الانتفاع بالنروجين ٨ - تستطيع الكثرة منها الاستفادة من
الجوى . النروجين الجوى .

٩ - تتفاوت ما بين وحيدة الخلية ٩ - دائماً صغيرة الحجم تتفاوت
مجهريه وكبيرة الحجم معقدة ما بين وحيدة الخلية مجهريه
التركيب . ومتعددة الخلايا ولكن دون تميز
أجسادها إلى أعضاء وأنسجة .

تصنيف بدائيات النواة :

من أحدث تصنيفات بدائيات النواة تصنيف راي وستيفز وفولتز
(١٩٨٣) الذى تقسم بمقتضاه تلك الكائنات البدائية إلى قسمين رئيسيين ،
هما :

(أ) البكتريا (Bacteria) ، ويطلق عليها أيضاً اسم الكائنات الانشطارية
(Schizonia) .

(ب) بكتريا خضر مزرقه (Cyanobacteria) وتسمى أيضاً طحالب
خضر مزرقه (Cyanophyceae) ، وتضم البكتريا الأقسام الآتية :

١ - البكتريا البدائية (Archacobacteria) وهى المحبة للحرارة والحموضة
والميثان .

٢ - البكتريا الحقيقية (Eubacteria) .

٣ - البكتريا (أو القطريات) (Actinobacteria or أشعاعية)
(Actinomycetes) وهى البكتريا الخيطية .

٤ — الموليكوتات (Mollicutes) وتسمى أيضاً ميكوبلازومات (Mycoplasmas).

أما البكتريا (أو الطحالب) الخضراء المزرقاء فيقسمونها إلى القسمين الآتين :

١ — سيانوكلورنتا (Cyanochloronta) وهي الطحالب الخضراء المزرقاء .

٢ — بروكلورونتا (Prochloronta) ، وهي طحالب وحيندة الخلية بلاستيدياتها الخضراء كلوروفيل أ ، ب ولكن منشأها من أصل مختلف عن منشأ بقية الطحالب ، ومنها طحلب بروكلورون (Prochloron) الذي يعيش معيشة تكافلية داخل أجسام مجموعة من الحيوانات البحرية يطلق عليها اسم (Tunicates) .

وهناك من يقسم بدائيات الأنوية — أو كما يسمونها النباتات الأولية (Protophyta) — إلى الأقسام الأربعة الآتية :

١ — الميكروتاتوبيوتات (Microtatiotes) وتشمل رتبتي الفيروسات (Virales) والريكيتسيات (Rickettsiales) ، ومن أبرز الصفات التي تشترك فيها هاتان الرتبتان صفتا إجبارية التطفل وعدم القدرة على القيام بأنشطة أيضية بمنأى عن خلايا العائل الحية .

٢ — الموليكوتات (Mollicutes) — أو الميكوبلازومات — ويتبعها جنسا ميكوبلازما وأكولبلازما (Acholeplasma) .

٣ — الفطريات الانشطارية (Schizomycota) التي تضم ما يقرب من تسع رتب من البكتريا .

٤ — النباتات الانشطارية (Schizophyta) وتشمل الطحالب الخضراء المزرقاء .

بعض المعايير التصنيفية :

جرت العادة على تقسيم البكتريا والطحالب الخضر المزرقة إلى أجناس (genera) وأنواع (Species) بحسب أشكال وأحجام الخلايا ، والطرق الإنمائية للكائنات ، وأنماط تحركها ، ذلك أن تحرك هذه الكائنات البدائية يتم بإحدى آليات ثلاث : إما بوساطة أسواط (flagella) ، كما في غالبية البكتريا العصوية والحلزونية ، وإما بآلية انزلاقية نتيجة لموجات من الانقباضات الخلوية ، كما هو الشأن في بكتريا الكبريت والبكتريا الهلامية ، وإما بآلية شبيهة بالحركة الدودية ، كما في البكتريا اللولبية (Spirochaetes) ، وتم هذه الحركة شبه الدورية بوساطة حزم من اللييفات المرنة القابلة للانقباض والتي توجد بين الأغشية الخارجية للخلية ومحتوياتها البروتوبلازمية الداخلية .

وبالإضافة إلى المعايير التصنيفية سالفة الذكر ، والخاصة بالكائنات بدائية النواة وحيدة الخلية تمتد تلك المعايير لتشمل تحديد ما إذا كانت الخلية مكبسلة (أى مغلقة بكبسولة) Encapsulated أم غير مكبسلة ، والكبسولة طبقة هلامية تغلف الخلية تغليفا تاما ، كما تشمل أيضا تحديد طراز التكاثر ومدى استجابة الخلية للاصطباع بشتى الصبغات . بل وقد يتطلب تحديد الوضع التصنيفي للكائنات بدائية النواة تحديد البيئة التي يعيش فيها الكائن أصلا ومدى مواعته لما تتميز به تلك البيئة الأصلية من سمات ، ومدى إمكان تكيفه لظروف بيئات أخرى إذا قدر له الانتقال إليها ، مثال ذلك قدرة بعض الكائنات الدقيقة على إنتاج الغازات أو الأحماض في المزارع المعملية ، وقدرتها على تثبيت النروجين الجوى إذا قدر لها المعيشة في بيئات فقيرة في محتوياتها النروجينية ، أما في حالة الكائنات بدائية النواة متعددة الخلايا فلا بد أن تؤخذ في الاعتبار عند التصنيف خصائص الكائن بأكمله .

شبه النواة (Nucleoid) في بدائيات النواة :

وتعرف شبه النواة أيضا باسم « البلازم النووى » (nucleoplasm) ،

وهي تمثل المادة النووية في صورة بدائية ، وتكون في البكتريا من الحامض النووى الديزوكسى الريبوزى (DNA) الذى ينتظم في حزم من اللييفات المترابطة . وقد تتغير أنماط تجمع هذه الحزم من الأنماط التراكمية إلى أنماط مستطيلة شبه شريطية ، وتحدث هذه التحولات النمطية كاستجابة لتغير الظروف البيئية . وقد كان من نتائج انعدام الغلاف النووى وعدم تكشف الكروموسومات في الكائنات بدائية النواة أن ساد الاعتقاد في الماضى أن البكتريا كائنات عديمة النواة ، وكان السبب المباشر في ذلك الاعتقاد احتواء شبه النواة على الحامض النووى الديزوكسى ريبوزى (DNA) واحتواء السيتوبلازم على الحامض النووى الريبوزى (RNA) ، ولما كان الحامضان كلاهما قابليين للاصطباج بنفس الصبغات فإن جميع محتويات الخلية كانت تصطبغ معاً كمجموعة متشابهة الاصطباج ، لا تميز فيها بين السيتوبلازم وشبه النواة . ولكن أمكن بعد ذلك استجلاء وجود المادة الكروماتينية - أو شبه النواة - في الخلية البكتيرية بوضوح عندما استخدمت تقنيات للتخلص من الحمض النووى الريبوزى (السيتوبلازمى) دون المساس بالحمض النووى الديزوكسى ريبوزى الخاص بشبه النواة . ويمكن التخلص من الحمض النووى السيتوبلازمى إما بمعالجة الخلية البكتيرية بأحماض مخففة وإما باستعمال إنزيم خاص يعرف باسم « ريبونوكلييز Ribonuclease » وهو إنزيم يذيب الحمض النووى السيتوبلازمى دون المساس بالحمض النووى لشبه النواة ، ومن ثم يقتصر الاصطباج على الحمض الأخير وحده فيبدو متميزاً كمادة كروماتينية عديمة النويات والغلاف النووى والكروموسومات .

ولقد كان لتقدم التقنية المجهرية الإلكترونية وارتقاء علم الوراثة الميكروبية (Microbial Genetics) أكبر الفضل في إزاحة الستار عن كثير من الأسرار الخاصة بتراكيب الخلايا بدائية الأنوية والكشف عن طرق تكاثرها .

أولا - البكتريا

مقدمة :

البكتريا واسعة الانتشار ، وموزعة على امتداد العالم كله ، ويرجع فضل السبق في التعرف عليها كقسم من أقسام النباتات إلى العالم النباتي الألماني كارل ولهم فوق نيجلي (Karl Wilhelm von Naegeli) الذي عاش فيما بين عامي ١٨١٧ و ١٨٩١ ، وهو الذي اقترح إطلاق اسم الفطريات الانشطارية (Fission Fungi) على هذا القسم من أقسام النباتات في عام ١٨٥٧ .

ويمكن تعريف البكتريا على أنها كائنات بدائية النواة ، إما عديمة اليخضور وإما تحتوى قلة منها على يخضور من نوع خاص ولا ينطلق منها أكسجين في عملية البناء الضوئي . والبكتريا ذوات البناء الضوئي أهمية بيولوجية كبرى . وهناك نسبة الثلث بين جميع أنواع البكتريا ملونة تلوناً واضحاً ونسبة الثلثين غير ملونة . وغالبية الأتواع وحيدة الخلية ، بينما البعض خيطية ، بسيطة أو متفرعة ، أو على شكل مستعمرات من خلايا متلاصقة . وللكترة العظمى جدار خارجي محدد ، عادة نروجيني . وتخزن البكتريا مدخرات غذائية في صور شتى ، منها القطيرات الدهنية والحبيبات البروتينية وحبيبات المركبات المختلفة من عديدات السكر مثل النشا والجليكوجين وغيرهما ، وتتكاثر البكتريا في الظروف العادية بالانقسام الخلوي المباشر (amitotic) ، وهو انقسام لا فتيلي ، وتنتج بعض الأنواع جراثيم . وقد أمكن إثبات تبادل المادة الوراثية بين خلية بكتيرية وأخرى في عدد من صور البكتريا ، ولكن اتضح في جميع الحالات أن الانتقال إنما تم بعملية جنسية جانبية (Parasexual) ولم يتم بعملية جنسية حقيقية (Truly sexual) تضمنت اتحاد أمشاج لتكوين لاقحة (Zygote) .

نشأة علم البكتريا :

لم تكن البكتريا معروفة للإنسان قبل استكشاف العدسات ، وظلت غير معروفة حتى أواخر القرن السابع عشر ، وكان أول من اكتشفها هواندى

يدعى أنتوني فان ليفنهوك (Antony van Leeuwenhoek) في صيف عام ١٦٨٦ ، الذي اتخذ من صناعة العدسات وصقلها هواية له يشغل بها أوقات فراغه . وأدت به هذه الهواية إلى أن يفحص بعدساته جميع ما يصادفه من أشياء ، ففحص مستخلصاً مائياً لبذور من الفلفل كان قد نقعها في الماء بضعة أيام ، كما فحص في عام ١٨٦٣ عينة بكتيرية جمعها من فضلات الطعام التي بين أسنانه ، وفحص مياه الأمطار والمواد المتعفنة والدم والجبن ، ووجد أن جميع هذه الأشياء تزخر بكائنات دقيقة نشيطة الحركة أطلق عليها اسم « جزيئات حيوانية » (animalcules) ، ولاحظ أنها تختلف في أشكالها ما بين الكروي والقصبي والحلزوني ، ولم يكن البيولوجيون قد توصلوا بعد إلى تمييز البكتيريا من بقية أقسام الكائنات الدقيقة .

وفي العقد الأخير من القرن الميلادي الماضي احتدمت مناقشات حادة داخل الأكاديمية الفرنسية للعلوم — التي كان لويس باستير عضواً بها — حول إمكانية نشوء الحياة تلقائياً من وسط غير حي . وقد حسمت نتائج البحوث التي أجراها باستير هذه المناقشات حسماً قاطعاً بإثباته أن أية كائنات حية لا يمكن أن تنشأ إلا من كائنات حية سابقة لها ، تستوى في ذلك البكتيريا وغيرها ، كيرقات الحشرات مثلاً ، وأن المادة العضوية في حد ذاتها لا يمكن أن تنتج بكتيريا ولا يرقات حشرية جديدة ، وأنه لا بد من وجود أسلاف من نفس أنواع هذه الكائنات الحية هي المسئولة عن إنتاجها بالتناسل . وقد أجريت سلسلة طويلة من التجارب في معمل باستير أمكن بواسطتها توضيح دور البكتيريا ونبات الخميرة في عمليات التخمر والتعفن وإحداث الأمراض .

وكانت النظرية السائدة قبل عهد باستير هي التي وضعها العالم الألماني جوستوس فون ليبج (Justus von Liebig) وزعم فيها أن عملية التخمر إن هي إلا عملية كيميائية بحتة ، ولكن باستير نقض تلك النظرية ، وأثبت بالتجربة اليقينية أن التخمر عملية أحيائية يرتبط حدوثها بنمو ونشاط كائنات دقيقة ، ونجح في فصل تلك الكائنات والتعرف عليها ، والحصول على مزارع نقية منها استطاع بها أن يحدث عمليات التخمر صناعياً .

انتشار البكتريا :

هذه الكائنات الدقيقة المعروفة بالبكتريا منتشرة حولنا في كل مكان ، فهي موجودة في الماء والهواء والتربة ، كما توجد أيضاً على أسطح أجساد الحيوانات والنباتات وكل ما تلمسه أيدينا من أشياء . حتى الأطعمة والألبان لا تخلو منها ما لم يكن قد سبق تعقيمها . ولقد عرضت بعض الجراثيم البكتيرية لدرجة من التبريد قاربت الصفر المطلق فلم يقتلها ذلك البرد الشديد . والبكتريا موجودة بشكل طبيعي في القنوات الهضمية للإنسان ومختلف أنواع الحيوان ، كما أن البكتريا المثبتة للنتروجين مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بالخلايا الحية في جذور بعض النباتات الزهرية ، كنباتات الفصيلة القرنية وغيرها ، ولكن تخلو منها عادة المياه الباردة الموجودة في الآبار والينابيع العميقة ، وبينما تزخر بالبكتريا بضعة السنتيمترات السطحية من أية تربة خصبة يلاحظ أن أعدادها تناقص كلما زاد العمق .

وبالرغم من انتشار البكتريا في الكون على هذا النطاق الواسع الذي بيناه ، فإن من الممكن إذا أخذت احتياطات بالغة الدقة توفير وجود غرف خالية منها خلواً يكاد يكون تاماً ، ومن ذلك ما يجري في غرف العمليات الجراحية بالمستشفيات وفي بعض أنواع المختبرات البيولوجية والبكتريولوجية . في مثل هذه الغرف تغسل الجدر الداخلية بمحاليل معقمة ، ويلبس مرتادوها ملابس معقمة ، وتستعمل آلات سبق غليها في الماء فترة كافية لتعقيمها ، حتى هواء تلك الغرف يمكن تعقيمه والتخلص مما به من بكتريا بالبخار أو بإشعاعات من مصدر أشعة فوق بنفسجية ، وتشمل عملية التعقيم تحطيم جميع صور الحياة — بما فيها البكتريا — التي يمكن وجودها على سطح المادة المراد تعقيمها أو بداخلها .

زراعة البكتريا :

لقد أدى استكشاف الأمراض البكتيرية في القرن الماضي إلى إذكاء رغبة ملحة في عزل كل نوع من أنواع البكتريا عن بقية الأنواع المخالطة له ،

وتعريفها ، ودراسة كل نوع منها على انفراد . ويجب أن نعلم - في هذا الصدد - أن لوظائف الخلايا البكتيرية من الأهمية في تصنيف البكتريا والتعرف على مختلف أنواعها مثل ما للصفات الشكلية لهذه الخلايا . ومن أجل تمييز أنواع بكتيرية تتشابه في أشكالها المجهرية وجد من الضروري فصلها عن بعضها البعض في مزارع نقية بكل منها نوع واحد ، والاستعانة بخصائص فسيولوجية للتعرف عليها ، بالإضافة إلى الصفات المورفولوجية لخلاياها ويمكن تعريف المزرعة النقية (Pure culture) بأنها تلك المكونة من نوع واحد من الكائنات الحية ينمو على وسط غذائي تحت ظروف من التعقيم (Sterile conditions) لا تسمح بتسرب كائنات حية غريبة . كما يجب أن تحتوي المزرعة أيضاً على مصدر للطاقة ومصادر للكربون والنيتروجين وغيرهما من العناصر الأساسية اللازمة لنمو الكائن الذي يزرع نمواً حسناً ، يضاف إلى ذلك ما يحتاجه الكائن المزروع من منشطات النمو كالفيتامينات .

وبجانب المحاليل الغذائية المائية تستعمل لإنماء البكتريا - ادراسة خواصها المزرعية والفسيوأوجية . منابت غذائية صلبة ، وذلك بأن يضاف إلى المحلول الغذائي المائي مادة لها القدرة على السيولة بالتسخين والتصلد إذا بردت ، مثل الأجار (Agar) والجيلاتين . وتجرى عملية زراعة البكتيرة بأن ينشر فوق سطح الوسط الغذائي أنصeld المعقم - الذي سبق صبه في أطباق بترى - معلق مخفف أشد التخفيف من خلايا البكتيرة المراد زراعتها ، وفائدة التخفيف الشديد أن تنمو كل خلية بعيدة عن الأخرى على سطح الوسط الغذائي ، وتنمو كل خلية من هذه الخلايا وتتكاثر إلى أن يصبح نتاج كل خلية كتلة واضحة من الخلايا يطلق عليها اسم مستعمرة (Colony) تصل من كبر الحجم إلى حد أن تصبح مرئية بالعين المجردة . وتنشأ خلايا أية مستعمرة من خلية واحدة بسلسلة من عمليات تكاثر لا جنسى متعاقبة . وتكون - جميع خلايا المستعمرة عادة متماثلة .

وتختلف فى خصائصها مستعمرات الطرز المختلفة من بكتريا ، إما من حيث اللون وإما من حيث الحجم أو القوام أو شكل الحافة ، وكل هذه الاختلافات تساعد فى التعرف على أنواع البكتريا وتصنيفها ، ومن الممكن باستعمال إبرة معقمة أن تنقل على فترات منتظمة بعض الخلايا من إحدى المستعمرات إلى وسط غذائى معقم جديد وتنميتها فيه إلى مستعمرات جديدة وبهذه الطريقة يمكن الاحتفاظ بمزارع نقية لكل نوع من أنواع البكتريا لفترات زمنية غير محدودة . ويطلق على عملية النقل من مزرعة أصلية إلى مزرعة جديدة اسم الاستزراع المتكرر (Subculturing) .

المزارع البكتيرية الإثرائية (Enrichment cultures) :

فى حالات كثيرة يتطلب فصل نوع ما من أنواع البكتريا - أو غيرها من الكائنات بدائية النواة - استعمال وسط غذائى مختار وظروف زراعة مختارة أخذنا فى الاعتبار المكونات الغذائية التى يحتاجها (أو لا يحتاجها) الكائن البكتيرى المراد فصله ، والظروف المزرعية غير العادية التى يحتاجها أو يحملها ذلك الكائن . مثل هذه المزرعة يطلق عليها اسم « المزرعة الإثرائية » . مثال ذلك : يمكن فصل الكائنات المثبتة للنروجين الجوى باستعمال أوساط غذائية مزرعية خالية من المركبات النروجينية ، وذلك لأن ماعداها من كائنات بدائية النواة لا تستطيع النمو فى الوسط الغذائى ما لم يكن محتويا على مصدر نروجينى . وبالمثل يلزم لفصل كائنات التربة الدقيقة التى تستطيع تحليل المبيدات الفوسفورية العضوية للآفات (Organo-phosphate pesticides) أن تضاف إلى الوسط الغذائى للمزرعة البكتيرية كميات ضئيلة من المبيد الفوسفورى بحيث لا يكون هناك مصدر فوسفورى سواه ، وفى هذه الحالة لن تنمو على المزرعة إلا البكتريا التى تستطيع تحليل المبيد الحشرى واستخلاص الفوسفور اللازم لها منه ، وبذلك تنمو وتتكاثر .

ويتأثر نمو البكتريا بعدة عوامل بيئية وفسولوجية منها : -

١ - درجة الحرارة : لكل نوع من أنواع البكتريا ثلاث درجات حرارة تحدد نموها ، درجة صغرى (Minimum) لا يبدأ النمو عند درجة أقل منها ، ودرجة مثلى (Optimum) تصل فيها إلى ذروة نموها ، ودرجة قصوى (Maximum) لا تستطيع النمو عند درجة أعلى منها . وتباين الأنواع المختلفة من حيث مدى درجات الحرارة الذى تستطيع أن تنمو فيه ، فمنها ما تفضل درجات الحرارة المنخفضة ، ومنها ما هي محبة للحرارة ويزدهر نموها عند درجات الحرارة العالية ، ومنها ما هي وسط بين الاثنين ، إذ تفضل درجات الحرارة المعتدلة أو المتوسطة ، أما البكتريا ذات المدى المنخفض فيتراوح مداها بين انصفر المئوى أو ما دونه إلى حوالى ٣٠°م . أما وسطية المدى فيتراوح مداها بين ٢٠° و ٤٠°م ، وهي تشمل الأنواع المسببة للأمراض الإنسانية التي تكون درجة حرارتها المثلى حوالى ٣٧°م ، وهي نفس درجة الحرارة الطبيعية لجسم الإنسان ، أما ذات المدى العالى - أو البكتريا المحبة للحرارة - فيتراوح مداها بين ٢٥° و ٦٠°م ، وهي تسبب أمراضا جسيمة ، حيث تلوث الألبان والأغذية المحفوظة بسبب قدرتها على مقاومة درجات الحرارة العالية .

٢ - الأرقام الإيدروجينية (pH values) : يعد الرقم الإيدروجينى بمثابة مقياس المـدرجـة التـركـيز الإيدروجينى ، ويعد المحلول « متعادلا » من حيث القلوية والحامضية إذا كان رقمة الإيدروجينى ٧ ، فإذا زاد عن ذلك كان المحلول قلويا وإذا نقص عن ذلك كان حامضيا . ولكل نوع من أنواع البكتريا مدى محدد من الأرقام الإيدروجينية - شبيه بالمدى السابق لدرجات الحرارة - يستطيع فيه أن يواصل نموه . والرقم الإيدروجينى الأمثل لنمو غالبية البكتريا يتراوح بين ٦ ، ٨ ، أما الأرقام الإيدروجينية الصغرى والقصوى فتختلف باختلاف الأنواع البكتيرية . ويقع مدى النمو فى غالبية الأنواع بين الرقين الإيدروجينيين ٤ ، ٩ .

٣ - العناصر الغذائية : يتوقف نمو البكتريا على ماهية العناصر الغذائية الداخلة

في تركيب المنبت الغذائي الذي تعيش فيه ودرجات تركيزها . ومن أهم العوامل الغذائية النسبة بين المركبات الكربونية والنيتروجينية .

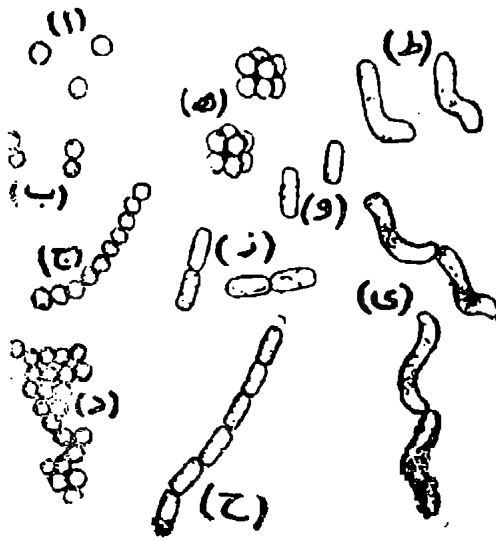
٤ - الأكسجين : بعض أنواع البكتريا لا تستطيع النمو إلا في وجود الأكسجين ، وتعرف مثل هذه البكتريا « بالهوائية الإجبارية » (Obligate aerobes) ، وهناك أنواع أخرى لا تستطيع النمو إلا في غياب الأكسجين وتعرف باللاهوائية الإجبارية (Obligate anaerobes) ، ومنها ما تستطيع النمو سواء كان الأكسجين موجودا أو غائبا ، وتعرف باللاهوائية الاختيارية (Facultative anaerobes) ، ويمثل هذا الطراز غالبية أنواع البكتريا وهي التي تنمو بسهولة تحت الظروف الهوائية ، وتستطيع أيضاً أن تنمو وتتكاثر إذا قدر لها أن تعيش في غياب الأكسجين .

٥ - الضغط الأوزموزي : تختلف أنواع البكتريا من حيث قدرتها على تحمل الضغوط الأوزموزية العالية ، فمنها ما تستطيع أن تعيش في مياه البحار ، ومنها ما تتأقلم لاحتمال الضغط الأوزموزي العالي في البحيرات المالحة ، كما أن هناك من الأنواع ما تستطيع أن تكيف نفسها لاحتمال التغيرات الكبيرة في الضغوط الأوزموزية . ولما كان الضغط الأوزموزي العالي مانعا لنمو غالبية البكتريا فقد استغل صناعا في تحضير الفواكه المسكرة والمربات والشربات واللحوم المملحة المحفوظة .

٦ - الضوء : تحتاج البكتريا المعروفة باسم ضوئية التغذية الذاتية (Photoautotrophs) إلى الضوء لنموها وتكوينها ، أما ما عداها من بكتريا فتفضل الظلام لأن الضوء ضار بها ويسبب قتلها في بضع ساعات ، ولا تؤثر ألوان الطيف الشمسي على البكتريا بدرجة واحدة ، فبينما لا تبدى الأشعة الخضراء والحمراء أى تأثير ، فإن الأشعة الزرقاء والبنفسجية وفوق البنفسجية تبيد البكتريا في وقت وجيز ، وقد استغل تأثير الأشعة فوق البنفسجية في علاج بعض الأمراض البكتيرية وفي تعقيم الماء .

٧ - الرطوبة : تحتاج البكتريا إلى رطوبة لكي تواصل نموها وتقوم بأوجه نشاطها ، لأن وسطها الطبيعي هو وسط مائي ، يعمل على احتفاظ خلاياها بمحتواها المائي ، كما يمكنها من امتصاص مواد غذائها من المحلول بالانتشار ، مثلها في ذلك مثل غيرها من النباتات ، ولما كان التجفيف ضارا بالبكتريا ومانعا لنشاطها فقد استغله الإنسان كوسيلة لحفظ بعض الأطعمة .

(شكل ١٣٦)



أشكال وأحجام البكتريا :

معظم البكتريا وحيدة الخلية ، وخلاياها على أربعة أشكال :

(أ) كروية ، (ب) قضبية أو عصوية ، (ج) منشئية أو حلزونية ، (د) لولبية (شكل ١٣٦) ولا بد من التنويه بأن هذه الاختلافات في أشكال الخلايا

ليست مطلقة ولا تحدد مجموعات تصنيفية بعينها ، ولكنها مجرد تقسيمات وصفية مفيدة. وتختلف أقطار البكتريا الكروية ما بين ٠,٢ من

طريقة انتظام الخلايا البكتيرية : (١) كوكس ، (ب) ديلوكوكس ، (ج) سترتوكوكس ، (د) ستافيلوكوكس ، (هـ) سارسينا ، (و) باسيل ، (ز) ديلوباسيل ، (ح) سترتوباسيل ، (ط) سبيريلم ، (ي) ديلوسبيريلم ، (من السكسوبولوس).

الميكرون وأربعة ميكرونات . أما العصوية والمنشئية واللولبية فإنها تشبه البكتريا الكروية في عرضها ولكنها تزيد عليها في الطول ، وقد يصل طول بعضها أحيانا إلى ٤٠ ميكرونا ، وهناك بين بكتريا الكبريت أنواع يصل طولها إلى ٦٠ ميكرونا وعرضها إلى ٢٥ ميكرونا ، ومن بين أنواع البكتريا اللولبية (السبروكتيات) ما يصل طوله إلى ٥٠٠ ميكرون وتظل مع ذلك رفيعة جداً ومحدودة العرض . وهناك تداخل بين هذه الأشكال الأربعة الرئيسية حتى ليتعذر أحيانا تمييز البكتيرة الكروية من العصوية

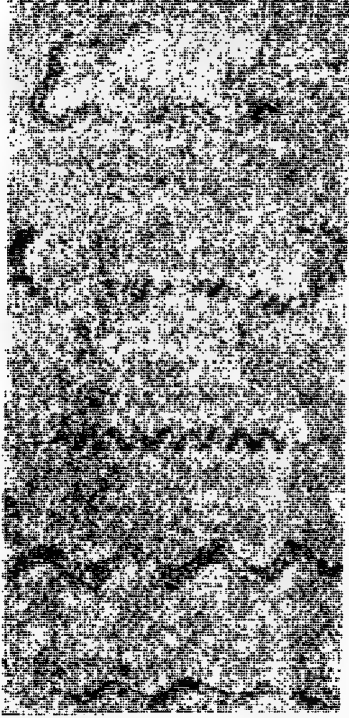
إذا كانت الأخيرة قصيرة شديدة القصر ، وقد يحسب الفاحص الخلية البكتيرية الكروية خلية عصبية عندما تستطيل بعض الشيء استعدادا للانقسام إلى خليتين . فضلا عن ذلك لوحظ أن شكل الخلية يتوقف أحيانا على عمرها والوسط الذى تعيش فيه .

وفى ما يلى مزيد من التفاصيل عن أشكال الخلايا البكتيرية وتجمعاتها :

١ - البكتريا الكروية « كوكس » (Coccus) : وهى إما أن توجد فراذلى ، وإما أن تظل متصلة بعد أول انقسام فى أزواج مكونة بكثيرة كروية ثنائية أو « دبلوكوكس » (Diplococcus) ، الذى تسبب بعض أنواعه أمراض الالتهاب الرئوى والالتهاب السحائى والسيلان عند الإنسان وإما أن تنتظم فى رباعيات كبكتيرة كروية رباعية أو « تتراكوكس » (Tetracoccus) ، وإما أن تنتظم فى مكعبات أو مضاعفاتها كما فى جنس « سارسينا » (Sarcina) . وتنتج المجاميع الرباعية والمكعبة من توالى تعامد المستويات المتتابة للانقسامات الخلوية ، أما إذا كانت مستويات هذه الانقسامات متوازية فتتكون سلسلة أو (سبحة) من البكتريا الكروية ، كما فى البكتيرة الكروية السبحية أو « ستربتوكوكس » (Streptococcus) الذى يضم بعض أنواع تسبب أمراضا خطيرة للإنسان ، مثل الحمى القرمزية وحى النفاس والجمرة والتهاب اللوزتين . أما إذا حدث الانقسام دون انتظام وظلت الخلايا الناتجة متصلة فتتكون مجموعة غير منتظمة من الخلايا الكروية تتخذ شكل عنقود العنب ، ومن ثم يطلق عليها اسم البكتيرة العنقودية أو « ستافيلوكوكس » (Staphylococcus) ، الذى تسبب بعض أنواعه تقيحات كالدماامل والخراجات .

٢ - البكتريا القصبية أو العصبية « باسيلس » (Bacillus) : وهى على هيئة عصى قصيرة ، وأحيانا طويلة نسبيا . ومن أمثلة الأمراض التى يسببها بعضها حمى التيفويد والدوسنتاريا والدفترية ، وقد تتجمع العصبويات فى أزواج كما فى جنس « دبلوباسيلس » (Diplobacillus) أى البكتيرة

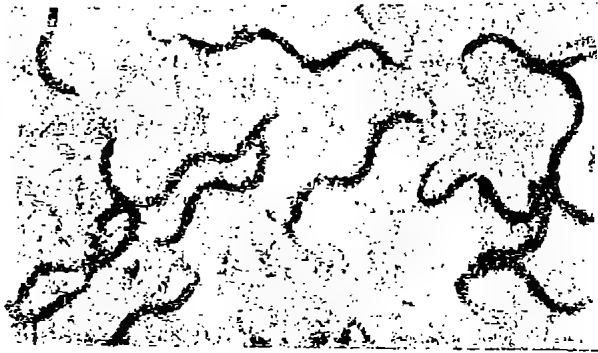
(شكل ١٣٨)



العصوية الثنائية ، أو تتصل بأطرافها لتكوين سلسلة أو سبحة ، كما في جنس « ستربتوباسيلس » (Streptobacillus) أو البكتيرة العصوية السبحية .

٣ - البكتريا المثنية : وهي حلزونية الشكل أو مثنية ، وتختلف فيما بينها من حيث أشكالها وتركيبها وطريقة حركتها ، وتشتمل على الطرازين الآتين :

(شكل ١٣٧)



رسوم تخطيطية لأنواع مختلفة من البكتيريا المثنية (عن كروج) .

أحد أنواع جنس سبيريلم

(أ) بكتريا حلزونية (Spirillum) : وهي حلزونية الشكل متصلة الجدار ، تتحرك غالبيتها بواسطة أسواط شكل (١٣٧) .

(ب) بكتريا ضمية (Vibrio) : وهي واوية أو ضمية الشكل متصلة الجدار ، وتتحرك بأسواط ، ويسبب أحد أنواعها مرض الكوليرا .

٤ - البكتريا اللولبية (Spirochaete) : وهي لولبية (شكل ١٣٨) يعوزها جدار متصلب ، ليس لها أدوات حركة كالأسواط ولكنها تتحرك كالديدان بالتلوى والأنثناء ، ويسبب أحد أنواعها المعروف علميا باسم « تريبونما باليدم » (Treponema pallidum) مرض الزهري .

وثمة شكل خامس من أشكال البكتريا يتمثل في البكتريا الخيطية (Filamentous bacteria) ، ويضم أنواعا وحيادة الخلية إلا أنها أكبر حجما

من البكتريا العصوية ، وتظهر ميلا للتفرع لتكوين خيط بدائى ، ومن ثم تتخذ الخلية أشكال الحروف X ، Y ، L كما فى جنس البكتيرة الفطرية (Mycobacterium) ، التى تسبب بعض أنواعها أمراض الدرن والجذام . أما فى الأجناس الأخرى من البكتريا الخيطية ، مثل جنس « ستربتومايسيس (Streptomyces) أو الفطرة السبحية ، فيتكون خيط متفرع واضح شبيه بالحيوط الفطرية : وتنتج الأنواع المختلفة من جنس ستربتومايسيس الكثير من المضادات الحيوية (Antibiotics) ، وهى المجموعة التى يطلق عليها اسم الميسينات (Mycines) مثل الستربتومايسين والكلورومايسيتين وأشباههما .

تركيب الخلية البكتيرية

لما كانت غالبة الخلايا البكتيرية عديمة اللون فلا بد عند فحصها من استعمال أصباغ خاصة لتلوينها حتى يمكن استجلاء تفاصيل تركيبها .

الجدار الخلوى :

لا يوجد جدار خلوى لجميع أنواع البكتريا ، ولكنه = إن وجد - يكون على شكل كيس يحيط بالبروتوبلاست ويطلق عليه اسم المادة التى يتكون منها وهى بيتيدوجليكان (Peptidoglycan) . وتنقسم البكتريا من حيث وجود الجدار الخلوى أو عدم وجوده ، ومن حيث تركيب الجدار - إن وجد - وخصائص اصطبائه إلى ثلاثة أقسام ، وهى :

١ - ميكوبلازومات (Mycoplasmas) : وهى التى لا يغلفها جدار .

٢ - بكتريا موجبة لصبغة جرام (Gram-positive Bacteria) : وقد

سميت بهذا الاسم لأنها تصطبغ بلون أزرق مسود إذا عولجت بالصبغة التى اخترعها كرميتيان جرام عام ١٨٨٤ ، ولهذا القسم من البكتريا جدار غليظ ، متجانس نسبياً يتركب أساساً من البيتيدوجليكان بنسبة ٤٠-٩٠٪ من الوزن الجاف .

٣ - بكتريا سالبة لصبغة جرام (Gram -negative Bacteria) : وهى التى لا تتقبل الاصطباج بتلك الصبغة . والجدار الخلوية فى هذا القسم أرق منها فى القسم السابق ، وهى جدر مزدوجة من طبقتين : الداخلىة من بيتيدوجليكان والخارجية غشاء مكون من بروتينات وفوسفوليبيدات وعديدات تسكر ، وهى ذات جزيئات معقدة يزيد وزنها الجزيئى على ١٠٠٠٠ ، وتصل ثخانة طبقتى الجدار معاً إلى ١٠ ملليميكرونات ، بينما يتراوح سمك الجدار المتجانس فى البكتريا الموجبة لصبغة جرام ما بين ١٠ ، ٥٠ ملليميكرونا ويأتى تأثير عقار البنسلين كمضاد حيوى من كونه يمنع تخليق اليتيدوجليكان .

ولخصائص الجدار الخلوى أهمية كبرى فى تصنيف البكتريا ، وعلى أساس هذه الخصائص أمكن تقسيمها إلى الأقسام الثلاثة السابقة .

وهناك بعض شواذ مثل جنسى هالوكوكس (Halococcus) وهالوباكتريم (Halobacterium) لا تحتوى جدارها على جزئ البتيدوجليكان ولكن خلاياهما لا تحتفظ بتكاملها التركيبى إلا إذا وجدت فى محاليل ملحية عالية التركيز . والتركيبية الأساسية المتكررة فى جزئ البتيدوجليكان هى وحدتان من الجلوكوز تتصل بهما سلسلة جانبية من عدة أحماض أمينية .

وتحيط بالجدار الخلوى فى كثير من أنواع البكتريا طبقة هلامية (Slime layer) قد تباع من السمك والمثانة بحيث تكون كتلة كبيرة حول الخلية تعرف بالكبسولة (Capsule) وتسمى البكتيرة المحاطة بكبسولة « بكتيرة مكبسولة » (Capsulated) . وتستغل الكبسولة فى أنواع البكتريا المسببة للأمراض كوسيلة لمقاومة الآلية الدفاعية التى تستحثها الأجساد الحية المصابة ضد الميكروبات .

والغلاف الكبسولى الذى يحيط بالخلية البكتيرية إما أن يظل متميزاً ومماسكاً وإما أن يذوب وينتشر فى الوسط المحيط بالخلية كمادة هلامية أو مخاطية ، وغالباً ما يكون الغمد الجيلاتينى مكوناً من إحدى عديدات التسكر - مع اختلاف عديد التسكر فى الأنواع المختلفة من البكتريا . ولكن فى بعض

البكتريا تكون الكبسولة بروتينية ، وقد يدخل في التركيب الكيميائي للغمد أيضاً بعض الفوسفوليبيدات ومركبات الحديد وعديدات الهيتيدات .

الأسواط (Flagella) :

بعض البكتريا تكون عديمة الحركة ، وكثير غيرها تكون مزودة بأسواط تسبح بها في الوسط السائل الذي تعيش فيه ، وتمثل تلك الأسواط امتدادات تبرز من سطح الخلية ، وتخرق جدارها ، وتتصل بالغشاء البلازمي عن طريق جزء قاعدي منها متخصص لخطافى الشكل ، والبكتريا ذوات الأسواط يتراوح عدد أسواطها بين سوط واحد وعدة أسواط ، وتكون مرتبة في مواضع خاصة على سطح الخلية تختلف باختلاف الأنواع ، وتحرك الأسواط الخلايا بحركة دورانية ، وهناك قلة من البكتريا تشبه الطحالب الخضراء المزرقة في عدم تحركها بأسواط ولكن بالزحف (gliding) . ولا يصاحب خاصية التحرك في هذه البكتريا الزاحفة وجود أية زوائد خلوية مختصة بهذه العمالية ، ولو أن معظمها تفرز مواد مخاطية (Mucilage) وتترك أثراً مخاطياً على طريق حركتها .

وبالإضافة إلى الأسواط توجد تراكيب تشبه الشعر وتعرف باسم سويطات (Pili) ، تبرز من سطح الخلية البكتيرية ، وهى أصغر حجماً من الأسواط ، ولا يمكن رؤيتها إلا بالمجهر الإلكتروني ، وتوجد هذه السويطات بنوع خاص في البكتريا السالبة لصبغة جرام ، بما فيها تلك الأنواع الموجودة بالقنوات الهضمية للإنسان والحيوان مثل بكتيريا إيشيريشيا كولاي . ومن السويطات البكتيرية المتخصصة تلك التى توجد فى أنواع البكتريا التزاوجية ، وتساعد على انتقال المادة الوراثية بين الخلايا المتزاوجة .

وتتكون الأسواط والسويطات من وحدات ثانوية بروتينية مرتبة فى نظام قوى حول تجويف مركزى ، وتختلف أنواع البروتينات فى أسواط وسويطات الأنواع المختلفة من البكتريا . وأسواط الكائنات بدائية النواة أبسط تركيباً ومختلفة اختلافاً أساسياً عن أسواط الكائنات حقيقية النواة .

ويعتبر الجدار الخلوى ومكونات سطح الخلية البكتيرية من الأهمية بمكان من حيث ارتباطها بآلية دفاع الجسم الإنسانى ضد البكتريا الممرضة ، ذلك أن الكثير من الأجسام المضادة (Anti-bodies) التى يكونها الجسم الإنسانى بعد مهاجمة البكتريا له تكون موجهة للعمل ضد جزئيات الكبسولات أو جزئيات الأسواط أو جزئيات الجدار الخلوى ، والكثرة من المضادات الحيوية المستخدمة فى علاج الأمراض البكتيرية تحدث تأثيرها بالتدخل فى تخليق الجدار الخلوى البكتيرى ، مما يترتب عليه توقف النمو أو تفتت الخلايا ، ومن أمثلة ذلك ما سبق ذكره من تدخل البنسلين لمنع تكوين الببتيدوجليكسان الذى يعتبر المكون الأساسى للجدر الخلوية البكتيرية ، ويؤثر هذا المضاد الحيوى بنوع خاص فى إيقاف نمو البكتريا الموجبة اصبغة جرام مثل أنواع جنس ستافيلوكوكس . وبوجه عام تكون المركبات الدوائية التى تؤثر على تخليق مكونات الجدار الخلوى للكائنات بدائية الأنوية ، أو على مسارات تفاعلات كيمو-حيوية خاصة بتلك الكائنات ، هى وحدها التى ينصح باستعمالها فى علاج الأمراض البكتيرية ، ذلك لأن تلك المركبات لا تأثير لها على أيض خلايا العائل ، أى أن مثل هذه المضادات الحيوية تكون انتخائية فى تأثيرها ، بحيث لا تؤثر إلا على الخلية بدائية النواة .

المكونات الداخلية للخلية البكتيرية :

يستقر البروتوبلازم داخل جدار الخلية ، ويتكون من غشاء بلازمى خارجى شبه منفذ ، ومن سيتوبلازم وجسم نووى أى شبه نواة أو بلازم نووى (Nuclear body, nucleoplasm, nucleoid) . ويتركز عادة وجود مادة « د ن أ » (DNA) فى شبه النواة التى تبدو تحت المجهر الإلكترونى أقل كثافة من بقية الخلية ، (شكل ١٣٩) و (شكل ١٤٠) . وتتخذ شكل ليفات إذا اتبعت تقنية معينة فى إعداد التحضيرات المجهرية . وشبه النواة هنا لا يحدها أو يغلفها غشاء نووى ، كما أنه لا توجد شبكة إندوبلازمية (Endoplasmic

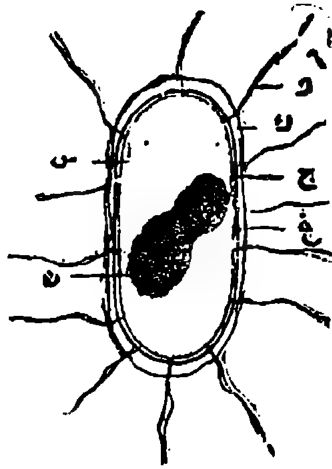
(reticulum) في سائر الخلايا بدائية النواة ، وجميع الريبوسومات (Ribosomes) توجد طليقة داخل السيتوبلازم فيما يحيط بمنطقة شبه النواة . وتختلف الريبوسومات في الخلايا بدائية النواة عنها في الخلايا حقيقية النواة في

(شكل ١٣٩)



قطاع طولى في خلية البكتيرة « باسيلس سبتيلس » *Bacillus subtilis* (٨٠,٠٠٠)

(شكل ١٤٠)



رسم تخطيطي لتركيب الخلية البكتيرية ،
ويرى : (و) السوط ، (ك) الكبسولة ،
(ج) الجماد ، (غ) الغشاء اللامى ،
(س) السيتوبلازم ، (ن) المادة النووية
(عن بولد) .

كونها أصغر منها ، حيث يصل قطرها إلى ١٥ مليميكرونا بينما هي في حقيقيات النواة لا تقل عن ٢٠ مليميكرونا ، كما أن عضيات البروتين و (ر ن أ) RNA تختلف عن نظائرها في حقيقيات الأنوية ، وهناك اختلافات أخرى في آليات التمثيل البروتيني . ويبدو السيتوبلازم حبيبياً نظراً لوجود الريبوسومات فيه بقرارة وكذلك وجود حبيبات كثيرة من مواد مدخرة .

المواد المدخرة في الخلايا :

تستطيع الخلايا بدائية النواة - مثلها كمثل الخلايا حقيقية النواة - أن تجمع في سيتوبلازما حبيبات من مواد مدخرة مثل الجليكوجين ، ولكن تلك الحبيبات لا تكون موجودة في عضيات ذوات أغشية ، كما هو الحال في الخلايا حقيقية النواة ، والسيتوبلازم البكتيري أقل تعضياً منه في الخلايا حقيقية النواة ، إذ يوجد به ريبوسومات وأنواع مختلفة من الحبيبات من بينها مواد كربوهيدراتية عديدة التسكر (Polysaccharides) ، كما توجد دائماً

حبيبات الحامض النووي الريبوزي (RNA) ، ولكن لا توجد عضيات الميتوكوندريات ولا البلاستيدات ولا أجسام جولجي .

والغشاء البلازمي الذي يحد السيتوبلازم من الخارج غشاء منفرد ، ويوجد أيضاً في الغالب غشاء منفرد آخر خارج طبقة الجدار المكون من اليتيدوجليكان ، والبكتيريا التي لها جدر ولكن لا يغلفها هذا الغشاء البلازمي تتجمع على سطحها صبغة جرام وتحفظ بها إذا عرضت لها ، ومن ثم يطلق عليها اسم البكتيريا الموجبة لصبغة جرام . وعلى العكس ، لا تتجمع على سطح الخلايا غير المغلفة بغشاء بلازمي صبغة جرام ، ومن ثم توصف بأنها سالبة لصبغة جرام .

المادة الوراثية داخل الخلايا البكتيرية :

تحتوي الكتلة الحية (البروتوبلاست) للخلية البكتيرية على عضى يحمل الحمض النووي « د ن أ » (DNA) ، وينقسم عادة في نفس الوقت الذي تنقسم فيه الخلية البكتيرية ، وأحياناً في وقت سابق لموعده انقسام الخلية ، وفي تلك الحالة الأخيرة تظهر بداخل الخلية الواحدة عدة عضيات من طراز ذلك العضى الحامل للحامض النووي (د ن أ) كلها متشابهة .

وقد أطلق على هذا العضى الحامل للحامض النووي (د ن أ) اسم « نواة » أو « شبه نواة » ، واعتبر هو الأصل الذى تطورت منه النواة في الخلية حقيقية النواة ، وهو يتكون من قوقع مزدوج طويل من مادة (د ن أ) يمثل جزيئاً بالغ الكبر من تلك المادة . ويمكن أن يوصف شريط ال (د ن أ) في الخلية البكتيرية بأنه دائرى لعدم وجود طرفين خالصين له ، ولأنه شريط متصل يمثل تركيباً مغلقاً ، ولكنه ليس دائرى الشكل تماماً بالمعنى الهندسى . وهو يختلف عن الكروموسوم في الخلايا حقيقية النواة من حيث شكله الدائرى وعدم وجود بروتينات في تركيبه الأساسى . هذا - وكما سبق القول - لا يوجد في البكتيريا على الإطلاق أى تركيب مقابل للغشاء النووي

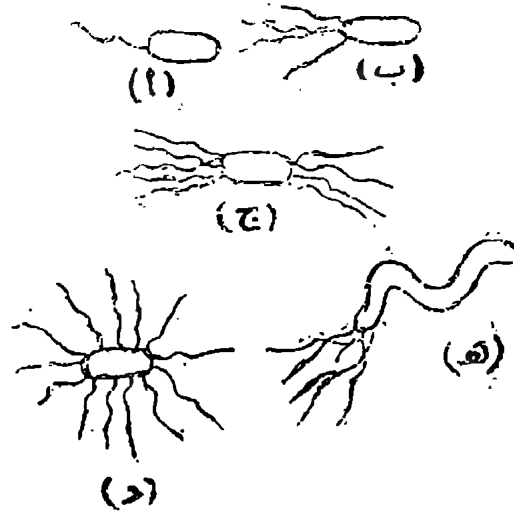
في الخلايا حقيقية النواة ، ولا مقابل للنوية (nucleolus) ولا للعصير النووي (nuclear sap) ، وكلها مكونات أساسية للنواة في الخلايا حقيقية النواة ، وهناك اتجاه في الوقت الحاضر نحو تسمية هذا العنصر الحامل للـ DNA في البكتيريا اسم « صبغى » أو « كروموسوم » .

وبالإضافة إلى هذا الصبغى الدائرى المغلق يوجد الكثير من الخلايا البكتيرية بها واحد أو أكثر من عضيات دائرية أيضاً حاملة (د ن أ) ولكنها أقصر كثيراً من الكروموسوم سالف الذكر ، يطلق عليها اسم بلازميدات (Plasmids) ، وهذه البلازميدات لها هي الأخرى تركيب قوقعى مزدوج كما في كروموسومات الخلايا البكتيرية والخلايا حقيقية النواة على السواء .

الحركة في البكتيريا :

تختلف الأنواع المختلفة من البكتيريا من حيث قدرتها على الحركة ، فمنها ما هي عديمة الأسواط (Atrichous) لا تستطيع الحركة ، ومنها ما هي

(شكل ١٤١)



طرق انتظام الأسواط في البكتيريا
المتحركة : (أ) وحيدة اسوط ، (ب) ، (ج) ، (د)
أسوطية الطرف ، (ج) أسوطية الطرفين ،
(د) محيطية الأسواط (عن الكسوفولوس).

مزودة بأعضاء حركة على هيئة « أسواط » (Flagellae) تمكنها من الانتقال والتحرك في الأوساط المائية ، وتشمل البكتريا المسوطة (أى ذوات الأسواط) حوالى نصف أنواع البكتريا العصوية وغالبية البكتريا الحلزونية والضحية . أما البكتريا الكروية فلا تزود بأسواط إلا قلة ضئيلة منها . ويختلف عدد الأسواط حسب نوع البكتيرة ، فبها ما لا يحمل سوى سوط واحد ومنها ما يحمل اثني عشر سوطاً أو أكثر . ويتميز كل نوع من أنواع البكتريا المسوطة بثبوت عدد الأسواط ومواقعها من جسم البكتيرة وترتيبها ، مما يعد صفة على أكبر سباجان من الأهمية من الوجهة التصنيفية . ويمكن تمييز الطرز الآتية من البكتريا حسب توزيع الأسواط (شكل ١٤١) .

(أ) وحيدة السوط (Monotrichous) ، وفيها يخرج سوط واحد من أحد قطبي الخلية .

(ب) سوطية الطرف (Lophotrichous) ، وفيها تخرج حزمة سوطية من قطب واحد .

(ج) سوطية الطرفين (Amphitrichous) ، وفيها يخرج سوط واحد أو حزمة سوطية من كل قطب من قطبي الخلية .

(د) محيطية الأسواط (Peritrichous) ، وفيها تنتشر الأسواط حول جميع سطح الخلية البكتيرية . وغالبية البكتريا العصوية المتحركة تكون محيطية الأسواط ، بينما تكون البكتريا الحلزونية والضحية عادة وحيدة السوط .

أحجام البكتريا :

تعد البكتريا من الضالة بمكان ، ولنضرب مثالين لتوضيح مدى ضالتها : المثال الأول أن البوضة المكعبة تستطيع أن تحتوى بداخلها على تسعة ترليونات (١٠٩) خلية من البكتريا العصوية المسببة لمرض التيفوئيد ، وهى المعروفة علمياً باسم (Salmonella typhosa) . (شكل ١٤٢)

(شكل ١٤٢)



بكتيرة سالمونيلا تيفوزا *Salmonella typhosa* المسببة لمرض التيفود .

لاحظ الأهداب الطويلة ($\times 6000$)

والمثال الثاني أن أربعمائة مليون بكتيرة يمكن أن تشغل حجم حبة صغيرة من حبات السكر الخشن ، وتقاس أبعاد البكتيريا بالميكرونات (microns) والميكرون = جزءاً من ألف جزء من المليمتر - ويتراوح قطر البكتيريا الكروية بين نصف ميكرون وأكثر قليلاً من الميكرون ، أى أنها إذا كبرت ألف مرة فلا تبدو أكثر من نقطة فوق صفحة مطبوعة ، ولو صفت جنباً إلى جنب لاحتاج صف منها طوله بوصة واحدة إلى ٢٥٠٠٠ خلية . أما البكتيريا العصوية فيتراوح اتساع كل واحدة منها بين نصف سينكرون وميكرون والطول ما بين ١,٥ ميكرون وأربعة ميكرونات . وتختلف البكتيريا الحلزونية كثيراً من حيث طولها الذى يتراوح بين بضعة ميكرونات إلى حوالى العشرة ، وتتميز البكتيريا اللولبية بأنها طويلة نسبياً ، إذ يزيد طولها عادة على السبعة ميكرونات ، أما البكتيريا الضميمة فيكون طولها عادة أقل من ثلاثة ميكرونات . ويتراوح طول البكتيريا الخيطية ما بين العشرين والمائة ميكرون أو أكثر .

أقسام البكتريا :

قبل عام ١٨٥٠ لم يكن يُخطر ببال أحد أن البكتريا يمكن أن تسبب أمراضاً ، وفي عام ١٨٥٠ لاحظ اثنان من الباحثين الفرنسيين وجود أعداد كبيرة من مرثيات دقيقة مجهرية الحجم عصوية الشكل في دم ماشية كانت قد أصيبت بمرض الجمرة الحبيثة وماتت بسببها ، ثم اتضح بعد ذلك أن تلك الجسيمات العصوية ، التي أصبحت تعرف الآن باسم (*Bacillus anthracis*) إنما هي كائنات حية توجد دائماً في الحيوانات المصابة بمرض الجمرة . وفي عام ١٨٧٦ استطاع روبرت كوخ (*Robert Koch*) الطبيب البكتريولوجي الألماني الذي عاش فيما بين عامي ١٨٤٣ ، ١٩١٠ (شكل ١٤٣) أن يحسم موضوع العلاقة بين الكائن العصوي الدقيق ومرض الجمرة الذي يصيب الماشية ، وذلك بأنه استطاع أن يعزل البكتيريا في منابت غذائية نقية وأن يحدث بها المرض في الماشية بحقنها مباشرة في مجرى الدم منها . وكان باستير قبل ذلك بعدة سنوات قد اكتشف، مرضاً ذا طبيعة بكتيرية يصيب دودة القز ولكن تفسيراته لتلك الظاهرة لم تستبعد احتمال وجود مسبب آخر للمرض ، ولهذا يرجع الفضل إلى كوخ في تقديم أول دليل واضح راسخ على أن أمراضاً يمكن أن تحدثها البكتريا . ومن بعض أمثلة الأمراض التي تسببها البكتريا أمراض الدفترية



(شكل ١٤٣)
روبرت كوخ

(Diphtheria) والسيلان (Gonorrhea) والجذام (Leprosy) والنيموتيا أو ذات الرئة (Pneumonia) والطاعون (Plague) والحمى القرمزية (Scarlet fever) والزهرى (Syphilis) وحمى التيفوئيد (Typhoid fever) بالإضافة إلى العديد من الأمراض النباتية مثل العفن الطرى (Soft rot) الذى يصيب البطاطس والفاكهة . ويحدث التسمم الغذائى (Botulism) بسبب واحد من أقوى السموم المعروفة نتيجة بكتيرة (كلوستريديم بوتولينم) (*Clostridium botulinum*) وهى بكتيرة عصوية لا هوائية تستطيع التجرثم . ويزدهر نمو هذا الكائن على اللحوم والأغذية الغنية بالبروتينات مثل انبسة والفول فى غيبة الهواء ، وتقاوم جراثيم هذا الكائن درجات الحرارة التى يتعرض لها الطعام أثناء عمليات تعليب الأطعمة المحفوظة فى المنازل ، على أنه من حسن الحظ أن هذا السم الفتاك يتحطم بسهولة فى درجة الغليان ولذلك ينصح أن تغلى الأطعمة المعلبة فى المنازل لمدة ١٠ - ١٥ دقيقة قبل تناولها أو حتى قبل مجرد تذوقها . أما الأطعمة عالية المحتوى البروتينى التى تعلب فى المصانع على نطاق تجارى فإن درجة حرارتها ترفع أثناء التعليب إلى الحد الذى يحطم جراثيم البكتيرة السامة « كلوستريديم بوتولينم » ويمنع أذاها .

البكتريا والمرضى :

تشتمل البكتريا - أو الفطريات الانشطارية (Schizomycota) - كما تسمى أحيانا - على المجموعات السبع الآتية من بدائيات النواة : -

١ - بكتريا عادية : وتكون ذوات أشكال عصوية أو كروية ، ومن أمثلتها « إشريشيا كولاي » (*Escherichia coli*) و « باسيليوس ميجاثيريوم » (*Bacillus megatherium*) .

٢ - بكتريا معنقة (Stalked bacteria) : تكون فيها الخلايا منفردة أو فى مستعمرات ، وتتصل عادة بالطبقة التحتية التى تعيش عليها بواسطة أعناق على أشكال شتى ، مثل جنس كايلولوباكتر (*Caulobacter*) .

٣ - بكتريا متبرعمة (Budding bacteria) : وتكون فيها الخلايا شبه كروية أو عصوية ، وتتميز أثناء الانشطار بالانقسام إلى جزئين غير متساويين ، يباو أحدهما كالبرعم ، وينفصل عن الخلية الأم الأكبر منه حجما ، كما في جنس رودوميكروبيم (Rhodomicrobium) .

٤ - بكتريا خيطية (Filamentous bacteria) : تنتظم خلاياها في سلاسل داخل أغشية مشتركة ، كما في جنس سفيروتيلس (Sphaerotillus) .

٥ - بكتريا متفرعة (Branching bacteria) : تبدو كنموات خيطية متفرعة ودقيقة للغاية ، مثل جنس ستربتومييسس (Streptomyces) وتنتج بعض أنواعه المضادات الحيوية الميسينية مثل الستربتومايسين والأوربومايسين وغيرهما .

٦ - بكتريا هلامية (Slime bacteria) : في هذه المجموعة تكون الخلايا مرنة ، وتستطيع كل خلية بمفردها الانتقال داخل مجموعتها ، كما تكون مجموعة منها مستعمرة بكتيرية هلامية ، ومن أمثلتها جنس ميكروكوكس (Micrococcus) .

٧ - بكتريا الكبريت (Sulphur bacteria) : يكون لونها أخضر أو أرجوانيا ، أو تكون عديمة اللون ، ويبدو بعضها متعدد الخلايا وشبهها بالطحالب الخضراء المزرقة ، بينما البعض الآخر يكون وحيد الخلية . وعادة ما تتميز خلاياها باحتوائها على حبيبات كبريتية ، مثل جنس ثيوباسيلس (Thiobacillus) .

٨ - متعضيات لولبية (Spiral organisms) : وتشمل بكتريا حلزونية الشكل ولولبية لها القدرة على الحركة ، ومن أمثلتها تريبونما باليدم (Triponema palidum) وهي البكتيرة المسببة لمرض الزهري .

٩ - ميكوبلازومات (Mycoplasmas) : وهذه تعد حاليا أصغر المتعضيات الخالية من الجدار الخلوي ، ولا تحتوي إلا على الحد الأدنى من المكونات الخلوية ، ومن أمثلتها جنس « ميكوبلازما » (Mycoplasma) .

طرق التغذية في البكتريا

تحتاج البكتريا - مثلها كمثل سائر الكائنات الحية - إلى مصدر للكربون وآخر للطاقة ، وعلى أساس نوعيات هذين المصدرين من الاحتياجات الغذائية يمكن تقسيم البكتريا من حيث طرق تغذيتها إلى الأقسام الأربعة الآتية : -

١ - ذاتية التغذية الضوئية (Photoautotrophs) : وهى التى تستعمل الضوء كمصدر للطاقة وثانى أكسيد الكربون كمصدر للكربون .

٢ - غير ذاتية التغذية الضوئية (Photoheterotrophs) : وهى التى تستعمل الضوء كمصدر للطاقة بينما تستمد الكربون من مركبات عضوية مختلفة (مثل حامض الخليك لك_٣ يد_١ ا_٢) .

٣ - ذاتية التغذية الكيميائية (Chemoautotrophs) : وهى التى تؤكسد مركبات غير عضوية مختزلة مثل النشادر (ن يد_٣) والإيدروجين (يد_٢) وكبريتيد الأيدروجين (يد_٢ كب) ومركبات الحديدوز (ح++) الكى تحصل من أكسدها على الطاقة اللازمة لها ، بينما تستعمل غاز ثانى أكسيد الكربون كمصدر للكربون .

٤ - غير ذاتية التغذية الكيميائية (Chemoheterotrophs) : وهى التى تؤكسد أو تختزل مجموعة من مختلف المركبات العضوية لتحصل منها على الطاقة والكربون معا .

ومعظم البكتريا من الطراز الرابع - أى غير ذاتية التغذية الكيميائية وتستمد الطاقة والكربون كليهما عن طريق البلازموما (Plasmolemma) أى الغشاء البلازمى المحيط بالبكتريا .

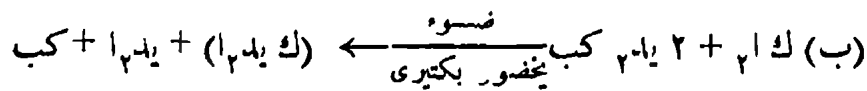
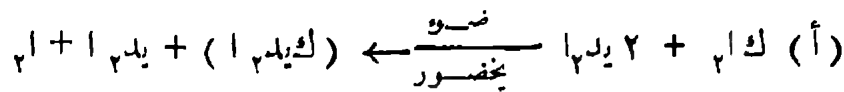
وتستطيع بعض أنواع البكتريا الانتقال من أحد طرز التغذية إلى طراز آخر إذا تغيرت الظروف البيئية التى تعيش فيها . وبعض العمليات الأيضية التى تنتج الطاقة والكربون لا تحدث إلا فى وجود الأكسجين الطليق والبعض

الآخر لا يحدث إلا في غياب الأكسجين ، كما أن هناك بعض البكتريا غير ذاتية التغذية الكيميائية تعيش مترمة ، حيث تستطيع تحليل البقايا العضوية الميتة ، كالبقايا النباتية التي تساقط على التربة ، وتستمد من نواتج تحليل تلك البقايا مصدرى غذائها ؛ بينما يعيش بعضها الآخر متطفلة ، ومن بين البكتريا المتطفلة تلك التي تسبب أمراضا مختلفة للحيوان والنبات ، وأحيانا لا يكون هناك حد فاصل تام للوضوح بين البكتريا المترمة والمتطفلة ، مثال ذلك أن بعض أنواع البكتريا تزدهر في التربة ككائنات مترمة ، ولكنها إذا استقرت داخل الجروح في جسم الإنسان أو الحيوان تحولات من الترمم إلى التطفل ، ومن أمثلة تلك البكتيريا تلك التي تسبب مرضى التتanos (Tetanus) والغرغرينا الغازية (Gaseous gangrene) عند الإنسان والقمام السوداء (Blackleg) عند الماشية ، والعطن الطرى (Soft rot) الذي يصيب الفواكه والخضر .

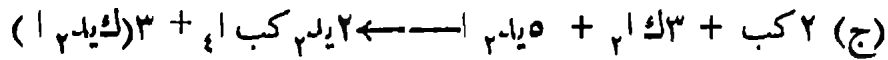
البناء الضوئي في البكتريا

لا تؤدي البكتريا ذاتية التغذية الضوئية وظيفة البناء الضوئي بنفس الطريقة التي تؤديها بها الطحالب الخضر المزرقة ولا النباتات حقيقية النواة (Eukaryotes) ذلك لأنه في عملية البناء الضوئي البكتيري لا يتحرر غاز الأكسجين ، كما لا يوجد كلوروفيل في البكتريا ولكن توجد عوضا عنه مجموعة أصباغ الكلوروفيل البكتيري (Bacteriochlorophylls) هي الكلوروفيل البكتيري أ ، ب ، ج ، د ، هـ ، ترافقها أصباغ إضافية من أشباه الكاروتينات أو الكاروتينويدات (Carotenoids) ، ووظيفة كل هذه الأصباغ مجتمعة حصد الطاقة الضوئية واقتناصها . والتركيب الجزيئي للكلوروفيل « أ » (الموجود في بلاستيدات النباتات حقيقية النواة) يشبه إلى حد كبير جداً التركيب الجزيئي للكلوروفيل البكتيري ، مع اختلاف في بعض المجموعات الجانبية للجزء و اختلاف طفيف في الامتصاص الطيفي أيضاً . وتعتبر البكتريا ذاتية التغذية الضوئية قلة بين البكتريا ويكون لونها أخضر أو أحمر بنيا أو أرجوانيا ، وهي تستعمل كمصدر للكربون إما غاز ثاني

أكسيد الكربون نفسه وإما أحد المركبات العضوية المختلفة (كالأحماض الدهنية أو الأحماض العضوية أو الكربوهيدرات أو الكحولات) ، ومصدر الإيدروجين تستعمل إما الإيدروجين نفسه بدلا من الماء أو كبريتيد الإيدروجين أو أحد المركبات العضوية المحتوية على الإيدروجين ، ولكن ليس الماء نفسه كما هو الشأن في النباتات حقيقية النواة ، وتوضح المعادلتان الآتيتان الفرق بين عمليتي البناء الضوئي في نبات أخضر راق (أ) وفي بكتيرة ذاتية التغذية الضوئية (ب) .



وتتضمن عملية البناء الضوئي في البكتيريا الخضراء والأرجوانية أكسدة كبريتور الإيدروجين بعملية كيموضوئية إلى كبريت أو حامض كبريتيك ، كما هو موضح في المعادلة السابقة (ب) والتالية (ج) .



وتمثل مجموعة (ك يد ٢) - أو بصورة أخرى (يد ك أيد) -

الفورمالدهيد الذي كان يعتقد أنه الناتج الوسطى في البناء الضوئي للنشا.

(شكل ١٤٤)



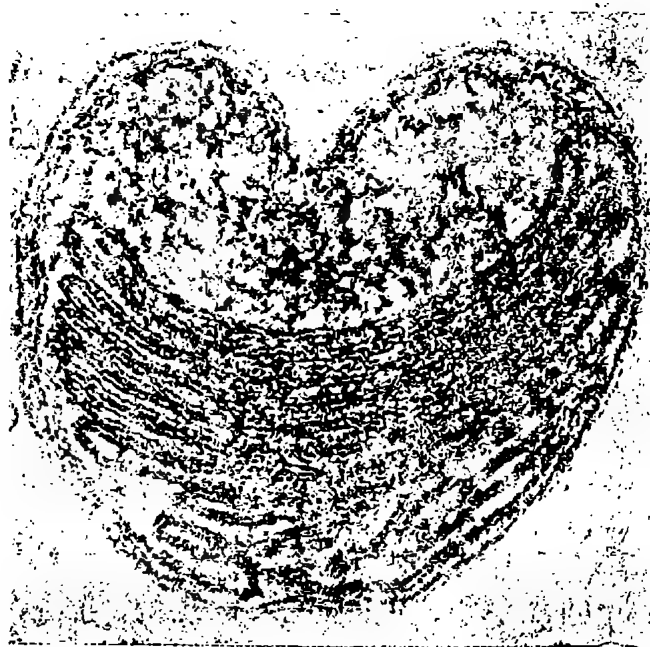
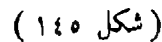
قطاع في بكتيرة « رودوميكروبيم فانيلياي » *Rhodomicrobium vannielii*

وتظهر فيه صفوف الأغشية التي يحدث بداخلها البناء الضوئي

والبكتريا ذاتية التغذية الضوئية قلة بين أنواع البكتريا وغالبيتها لاهوائية إجبارية (Obligate anaerobes) تعيش في البيئات الخالية من الأكسجين الحر ، كالطين الذى يتماح البرك والبحيرات . وهى تستعمل أحد العوامل المختزلة الخارجية الكيميائية ، كالإيدروجين أو كبريتيد الإيدروجين في اختزال ثانى أكسيد الكربون أثناء عملية البناء الضوئى ، مع أكسدة العامل المختزل دون انطلاق أكسجين ، حيث أن الأكسجين الطليق يكون ساما ومهلكا لتلك البكتريا . وتختلف البكتريا ذاتية التغذية الضوئية عن الطحالب الخضراء المزرققة والبكتريا القرمزية من حيث طراز الكلوروفيل والأصباغ الأخرى المساعدة الموجودة في كل منها .

وبالرغم من افتقار البكتريا ذاتية التغذية الضوئية إلى البلاستيدات الخضراء فإن بها أغشية متخصصة تحدث بداخلها عملية البناء الضوئى ، ففي البكتريا الخضراء توجد تحت الغشاء السيتوبلازمى الخارجى للخلية مباشرة فجوات عرض كل منها حوالى ٥٠ ملليميكرون (50×10^{-3} ميكرون) وطولها ضعف إلى ثلاثة أمثال عرضها (شكل ١٤٤) يحيط بها غشاء من طبقة واحدة نخاته ٣ - ٥ ملليميكرونات ، وتوجد الأصباغ الإضافية المستقبلة للضوء داخل هذه المثانات بينما يوجد اليخضور البكتيرى في البلازمالما (Plasmalemma) - أى الأغشية البلازمية وفي البكتريا القرمزية تحدث التفاعلات الضوئية (التى يتضمنها البناء الضوئى) على سطح انشاءات داخلية معقدة لجهاز الأغشية البلازمية (البلازمالما) . تبدو أحيانا في صورة حويصلات (Vesicles) وأحيانا في صورة طبقات متوازية شبيهة بطبقات الجرانا في البلاستيدات الخضراء المعروفة في حقيقيات النواة . ولكن - مع هذه المشابهة - لا يصح أن يغيب عن الذهن أن هذه الأغشية إنما هي امتدادات من الأغشية البلازمية الخارجية ومتصلة بها . والبكتريا الخضراء هى وحدها التى يوجد بها جهاز أغشية مستقل داخل السيتوبلازم .

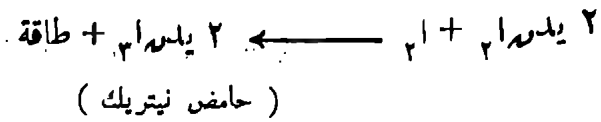
وتدخل في إطار التغذية الكيميائية للبكتريا عدة أنشطة كيميائية تحدث بالتربة ، منها عملية النيترة (Nitrification) التي تتم على خطرتين تقوم بالأولى مجموعة بكتريا النتريت (Nitrite Bacteria) ، ومن أمثلتها أنواع جنس نيتروسوموناس (Nitrosomonas) ونيتروسوكس (Nitrosococcus) التي تستغل الطاقة المنطلقة من أكسدة أملاح النشادر (ن يـ ٣) إلى نيتريتات (Nitrites) وفق المعادلة : —



البكتيرية كيميائية التغذية التي تؤكسد نيتريبات للترية (٢١هـ) إلى نتراتات (٢٢هـ) وتشاهد بها صفوف الأغشية المتوازية ($90000 \times$)

والنيتروموناس بكتريا هوائية قصيرة جداً قصبية الشكل ذات
أهداب .

وفي الخطوة الثانية تستغل بكتريا النترات (Nitrate Bacteria) -
لمثلة بجنس نيتروباكتري (Nitrobacter) ونيتروستيس (Nitrocystis) -
الطاقة المنطلقة في الخطوة الأولى لأكسدة النيتريتات (وهي مركبات غير
ثابتة) إلى نتراتات (Nitrates) ، وهي مركبات ثابتة تزيد من خصوبة
التربة وصلاحياتها لنمو النباتات .



والنيتروباكتري هي أيضاً بكتريا هوائية قصيرة قصبية الشكل ولكن غير
ذات أهداب فهي لذلك ساكنة لا تستطيع الحركة .

وعمليتا النيرة وتثبيت النتروجين كبيرتا الأهمية من الناحيتين البيئية
الاقتصادية لأنهما تزيدان من خصوبة التربة ، وتعتمد الدول غير الصناعية
على المخلفات الحيوانية (بما فيها مخلفات الإنسان) في تدبير معظم احتياجاتها
من المخصبات النتروجينية . وفي زماننا الحاضر يستهلك العالم خمسين مليون
طن من المخصبات النتروجينية كل عام في تسميد المحاصيل (الطن
تري = ١٠٠٠ كج) ، ويوفر تثبيت النتروجين بالطريقة البيولوجية
أى المعتمدة على النشاط البكتيري ونشاط كائنات التربة الدقيقة الأخرى (
ثمة أمثال تلك الكمية ، ولكن الاستفادة من هذا التثبيت البيولوجي تتحقق
نثر شيء للنظم البيئية الطبيعية التي لا تخضع لتحكم الإنسان . ومن المحتمل
يصبح التثبيت النتروجيني البيولوجي أكبر فائدة للزراعة في المستقبل
لما يتعلم الإنسان كيف يوظف تلك العملية الطبيعية ويتحكم فيها ويوجهها
لمحته .

ومن أنواع البكتريا ذاتية التغذية الكيميائية أيضاً بكتريا الكبريت (Sulphur Bactria) التي تستغل الطاقة المنطلقة من أكسدة الكبريت أو أحد مركباته ، وبكتريا الحديد (Iron Bacteria) التي تحصل على الطاقة بأكسدة مركبات الحديدوز إلى مركبات حديدية . وتوجد بكتريا الكبريت في مياه الآبار والينابيع الكبريتية ، كما توجد أنواع منها على الطمس ، وتبدو في شكل كتل من خيوط متشابكة عديمة اللون . أما بكتريا الحديد فهي أيضاً خيطية وتعيش في الماء الراكد بالبحيرات والقنوات والينابيع والبحار .

البكتريا غير ذاتية التغذية

تمثل هذه غالبية أنواع البكتريا ، وتستمد الطاقة اللازمة لبناء مادتها البروتوبلازمية من تكسير مواد عضوية تمدها بها غيرها من الكائنات الحية ، منها ما تعيش متطفلة (Parasitic) ومنها ما تعيش مترمة (Saprophytic) على الأجداث الميتة أو النواتج العضوية التي تلفظها الأحياء ، ومنها ما تعيش متكافلة (Symbiotic) مع غيرها من الأحياء في منفعة متبادلة ، مثل العلاقة الموجودة بين جذور النباتات القرنية والبكتريا العقدية .

دورة النروجين

The Nitrogen Cycle

تمر العناصر التي تستعملها النباتات في غذائها في دورة من التغيرات الكيميائية أثناء امتصاص النباتات لها ، واستعمالها إياها ، ثم تحويلها في النهاية إلى صورة صالحة للامتصاص مرة أخرى . ولقد بدأنا نتعلم أن نفس مبدأ الدورة ينطبق أيضاً على المواد المستعملة في المجتمعات البشرية ، فالأرض - مثلها كمثل أى كوكب آخر - لها موارد محدودة لا بد من تجديدها ودورانها . ودورة النروجين (شكل ١٤٦) التي تلعب فيها البكتريا عدة أدوار أساسية هي إحدى الدورات المتوازنة الدقيقة التي تحدث في التربة

صورة البروتينات وغيرها من المركبات النروجينية المعقدة إلى صورة النترات البسيطة الصالحة للامتصاص تحدث على عدة خطوات ، وتعزى في المقام الأول إلى أنشطة البكتريا ، ولو أن بعض الخطوات الأولى في تلك العملية تشارك فيها الفطريات أيضاً .

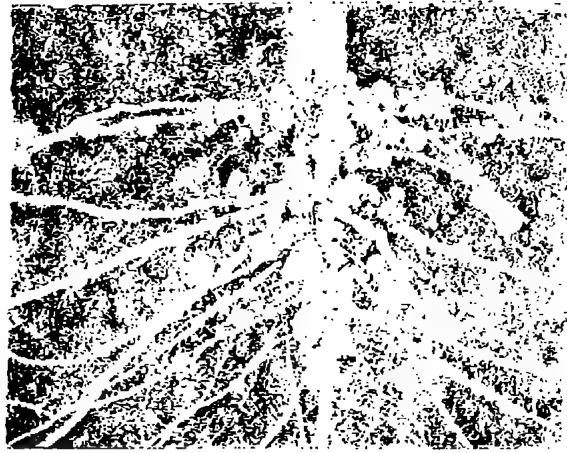
النشطرة (Ammonification) :

تعتبر المركبات النروجينية الموجودة في أجسام النباتات والحيوانات ، وكذلك الفضلات النروجية التي تخرجها الحيوانات ، مصدراً هاماً لغذاء مختلف أنواع البكتريا (والفطريات) التي تحدث التحلل والتعفن ، وينتج غاز النشادر (ن يد) عن هذا التحلل ، ويتسرب جانب من غاز النشادر الناتج إلى الهواء الجوى وبذلك لا يدخل في دورة النروجين . ولكن الجانب الأكبر منه يتفاعل مع الماء مكوناً إيدروكسيد الشادر (ن يد ، أ يد) ، وتتكون من إيدروكسيد النشادر مجموعة متنوعة من أملاح النشادر دون أن تتدخل البكتريا في تكوينها .

وتستطيع كثرة من البكتريا - وغيرها من الكائنات الدقيقة - أكسدة الأحماض الأمينية الناتجة من الانحلال البروتيني وتكوين نشادر ، وتتراكم بعض أملاح النشادر المتكونة في عملية النشطرة في التربة التي تستغلها النباتات الراقية والكائنات الدقيقة كمصدر غذائي نروجي ، ويتأكسد البعض الآخر نتيجة لتأثير بكتريا النيرة (Nitrifying Bacteria) .

النيرة (Nitrification) :

النيرة - التي سبق التحدث عنها في مجال التغذية الكيميائية للبكتريا - تتضمن أكسدة أملاح النشادر الموجودة بالتربة أولاً إلى نيتريتات بالتأثير الإنزيمي لبكتريا النريت ، ثم أكسدة النيتريتات الناتجة إلى نترات بالتأثير الإنزيمي لبكتريا النترات .



العقد البكتيرية على جذور نبات فول الصويا

وتعد عمليات النشدة والنيرة ، وهي التي تهدف إلى تحويل البروتينات النباتية والحيوانية إلى نترات ، من أهم العمليات الأيضية التي تقوم بها البكتريا النافعة لزيادة خصوبة التربة بزيادة محتوياتها النروجينية ، وتستغل البكتريا الطاقة المنطلقة من هذه التفاعلات للقيام بأنشطتها المختلفة .

تثبيت النروجين (Nitrogen Fixation) :

تختلف بعض البكتريا - وبض الطحالب الخضراء المزرقة أيضاً - عن سائر الكائنات الحية الأخرى في قدرتها على استغلال النروجين الجوي في غذائها ، ويطلق على تلك البكتريا اسم « البكتريا المثبتة للنروجين » (Nitrogen-fixing Bacteria) ، وبعضها مترمة تعيش في التربة والبعض الآخر متكافلة (Symbiotic) تعيش غالبيتها في جذور بعض النباتات الراقية ، وعلى الأخص النباتات القرينة (Leguminous plants) وأهم جنسين من أجناس البكتريا المثبتة للنروجين التي تعيش حرة في التربة هما جنسا أزوتوباكتر (Azotobacter) وكلوستريديم (Clostridium) والأول هوأى كبير الحجم نسبياً ، على شكل قضيبات قصيرة ولا يستطيع التجرثم ، أما الثانى فهو لا هوأى قصى الشكل يستطيع تكوين جراثيم .

وكثير من نباتات الفصيلة القرنية كالقول والبرسيم والبازلاء واللوبيه والبرسيم الحجازى والدحرج تكون انتفاخات مميزة على جذورها (شكل ١٤٧) ، وتعرف بالعقد البكتيرية (Bacterial nodules) ، وتعيش فى بعض خلايا هذه العقد كائنات بكتيرية تتبع جنس رايزوبيوم (Rhizobium) ، وهى بكتريا هوائية لا تكون جراثيم عندما تستنبت فى المزارع البكتيرية، حيث تتخذ شكل قصيبات قصيرة ولكن شكلها يتحول داخل العقد البكتيرية إلى أشكال غير منتظمة ثنائية الشعب ، غالباً على شكل الحرف (Y) . ويحفز وجرد البكتريا داخل الجذور النبات القرني خلايا تلك الجذور على الانقسام بنشاط تحت تأثير مواد منشطة للنمو تفرزها البكتريا التى تغزو الجذر عادة قرب فته النامية .

وتصبح بعض المركبات النتروجينية التى تنتجها البكتريا العقدية متاحة للنبات العائل يستغلها فى تكوين البروتينات .

وغالباً ما تزرع المحاصيل البقولية فى دورات زراعية مع محاصيل أخرى بقصد إثراء التربة بالمركبات النتروجينية . ومن المعلوم أن المحصول البقولى إذا حصد وأخلبت منه التربة التى نبت بها فإن التربة لا تكاد تستفيد منه شيئاً يذكر ، حيث أن ما يتخلف بها من نتروجين تحتويه الجذور قد لا يتجاوز فى كميته النتروجين الذى امتصه منها نبات المحصول أثناء نموه . ولذلك يلجأ المزارعون من وقت لآخر إلى حرث التربة بمحصولها البقولى دون حصده وإزالته ، فيؤدى ذلك إلى تحسين قوام التربة بزيادة الديال والمادة العضوية بها وإلى زيادة محتواها من النتروجين المتاح .

وبالإضافة إلى الفصيلة القرنية توجد فصائل أخرى من النباتات الزهرية تضم نباتات توجد بجذورها عقد بكتيرية بداخلها بكتريا مثبتة للنتروجين ، ولكن معظم تلك البكتريا تتبع قسماً من أقسام البكتريا الخيطية يطلق عليه اسم « الفطريات الشعاعية » (Actinomycetes) .

وقد اكتشف حديثاً أن أنواعاً كثيرة من البكتريا المثبتة للنروجين - تشمل جنس أزوتوباكتر - (*Azotobacter*) تنمو في التربة حول جذور الأرز ، ومن المعلوم أن لنبات الأرز جهاز شهوية داخلي جيد ، ويتسرب بعض الأكسجين وبعض غاز النروجين الذي تزود به الجذور إلى التربة المغمورة بالماء في حقول الأرز ، فهىء ذلك وسطاً صالحاً لنمو البكتريا ونشاطها ، وقد وصفت العلاقة بين الأرز والبكتريا بأنها تكافل مرافقة (*Associate symbiosis*) ، ويبدو أن سلالات الأرز المختلفة تختلف في مدى احتمالها أو تنشيطها لنمو البكتريا في حقولها . وتبدى بعض النباتات كالذرة وقصب السكر وغيرهما استعداداً تحت ظروف التربة النباتية لانتهاج مثل هذا النهج من تكافل المرافقة المؤدى إلى تثبيت النروجين . والبكتريا المثبتة للنروجين التى تعيش حرة في التربة واسعة الانتشار وموجودة في كل أنواع التربة عدا الحمضية منها عالية الحموضة ، كذلك البكتريا المثبتة للنروجين التكافلية هى الأخرى واسعة الانتشار في الطبيعة ، ولكن لا توجد سلالة واحدة منها تستطيع أن تعيش في جميع أنواع النباتات القرنية ، وغالباً ما ينصح بتعفير بذور القرنيات بالبكتريا الملائمة قبل زراعتها خاصة إذا كان الحقل المزمع زراعته لم تسبق زراعته بذلك المحصول . ويستطيع النبات البقولى أن يندو في غياب البكتريا ولكنه لا يصل إلى مستوى جودة نموه إذا وجدت لديه البكتريا الملائمة ، كما أن زراعته تكون غير مجدية في زيادة خصوبة التربة .

عكس النيترة (Denitrification) :

هناك عوامل كثيرة تزيد من تعقيد دورة النروجين ، فقد لاحظنا أن بعض النروجين يمكن أن يخرج من الدورة بتسربه إلى الهواء الجوى على شكل نشادر غازى ، وهناك عدد من أنواع البكتريا تسبب انعكاس عملية النيترة ، وقد تمضى هذه العملية العكسية إلى حد تكوين غاز أكسيد النروجين (N₂O) وربما أبعد من ذلك إلى حد تكوين غاز النروجين نفسه ، في كلتا الحالتين يتسرب الغاز إلى الهواء الجوى ولا يشترك في الدورة .

والبيكتريا العاكسة للنيترة هي بيكتريا لا هوائية - اختيارية أو إجبارية - تستخلص الأكسجين من النيتريتات أو النتراتات وتستعمله في أكسدة مواد غذائها العضوى ، مع تكوين الماء كأحد المنتجات النهائية للتفاعل . والطاقة التى تنحرر من أكسدة النتروجين تفوق تلك التى تستعمل فى نزع الأكسجين من النيتريتات والنتراتات ، ونتيجة لذلك يكون هناك وفر فى الطاقة تستفيد به البيكتريا فى أيضا . وتستغل معظم البيكتريا العاكسة للنيترة الأكسجين الجوى إذا كان متوفراً بكميات كافية ، ولا تلجأ إلى عملية عكس النيترة إلا فى حالات نقص الأكسجين المتاح . ويشجع على حدوث تلك العملية رداءة التهوية فى التربة ، التى تؤدى آخر الأمر إلى اختفاء النتراتات تماماً فى الأراضى المشبعة بالماء حيث يحل الماء محل كل الهواء الذى بالتربة .

ملخص دورة النتروجين :

الخطوات الأساسية فى دورة النتروجين هى الآتية :

- ١ - تمتص النباتات النترات من التربة ، وتستعملها فى صنع البروتينات وغيرها من المركبات العضوية النتروجينية . وتستهلك الحيوانات جانباً من البروتينات التى تنتجها النباتات باغذائها عليها ، وتستعملها فى بناء بروتيناتها .
- ٢ - تستعمل بيكتريا وفطريات التعفن البروتينات النباتية والحيوانية وغيرها من المركبات النتروجينية ، وكذلك المخلفات النتروجينية غذاء لها ، وينتج عن ذلك تحلل تلك المركبات وإنتاج النشادر والمركبات النشادرية .
- ٣ - تتأكسد مركبات النشادر إلى نيتريتات بتأثير جنس بيكتريا نيتروسوموناس وغيره من أجناس البيكتريا .
- ٤ - تتأكسد النيتريتات إلى نتراتات بتأثير جنس « نيتروباكتري » وغيره . وهناك مسار آخر لخطوات البيكتريا فى دورة النتروجين ، تتمثل فى نشاط النباتات الراقية التى تعيش الفطريات المتكافلة فى جذورها مكونة ذلك

ويمكن أن تستعمل جميع المصطلحات سائلة الذكر - فيما عدا مصطلح « حيوانى التغذية » (Holozoic) - فى وصف بعض البكتريا أو فى وصف العلاقة بين البكتريا وغيرها من الكائنات .

التكاثر فى البكتريا

(أولا) : الانشطار الثنائى (Binary fission)

يعتبر هذا النوع من التكاثر أكثر الأنواع شيوعاً ، وهو يبدأ باستطالة الخلية البكتيرية قليلاً ، ثم التخصر فى وسطها تدريجياً (شكل ١٤٨) إلى أن يتم انقسامها إلى خليتين متماثلتين ، ويطلق على هذه العملية أيضاً اسم «الانشطار» (Fission) أو « الانشطار البسيط » (Simple fission) . وغالباً ما يتكون غشاء مستعرض مزدوج داخل الخلية ، يمتد من حافتها تدريجياً متجهاً نحو مركزها قبل أن يحدث التخصر الذى يمكن رؤيته ثم بعد ذلك يتم ترسيب الجدار الفاصل بين طبقتى الغشاء ، ممتداً من الخارج تجاه المركز ، وكما ذكرنا من قبل يمكن أن يسبق انقسام الكروموسوم البكتيرى انقسام الخلية أو يتزامن معه . وفى الظروف الملائمة يتم انشطار الخلية البكتيرية ثنائياً مرة كل ٢٠ دقيقة ، بمعنى أن الخلية الواحدة يمكن أن تنتج ٤ خلايا فى ٤٠ دقيقة و ٨ خلايا فى ساعة واحدة و ٦٤ خلية فى ساعتين و ٥١٢ خلية فى ٣ ساعات و ٤٠٩٦ خلية فى ٤ ساعات وأكثر من 2^{11} خلية فى ٢٤ ساعة ، وإذا استمر نفس معدل الانقسام لمدة ثلاثة أيام فإن حجم البكتريا الناتجة يكون أكبر من حجم الكرة الأرضية ، ولكن ما يحدث من تنافس بين هذه الكائنات الناتجة على الحيز أو الغذاء أو كليهما سرعان ما يحد من معدل التكاثر البكتيرى فى لحظة معينة ، حتى ولو كانت جميع العوامل الأخرى مواتية .

ومما يساعد على خفض معدلات تكاثر البكتريا أيضاً أن البكتريا ذاتها قد تكون نواتج أيضية - بسبب نشاطها الإنزيمى - تعمل على تثبيط نموها والحد من تكاثرها ، وفى الوقت نفسه تعمل الكائنات الدقيقة الأخرى التى تعيش معها وتشاركها البيئة والغذاء - مثل الفطريات - على الحد من نموها أو تسبب قتلها .

التكاثر الجنسي (Sexual Reproduction) (شكل ١٤٨)

لم تشاهد قط في البكتريا عملية تكاثر جنسى كمثل تلك الى تحدث في النباتات الراقية ، متضمنة اتحاد مشيجين بنواتهما لتكوين لاقحة ، وما يتبع تكوين اللاقحة من عملية انقسام اختزالى . ولكن كثيراً ما يحدث أن أنواعاً من البكتريا تنتقل فيها المادة الوراثية من خلية إلى أخرى ، ومثل هذه العمليات الى تنتقل فيها المادة الوراثية دون تكوين لاقحة يمكن أن يطلق عليها اسم « عمليات جنسية جانبية » (Parasexual processes) ، وهى عمليات تزواج بدائية . وفي البكتريا توجد ثلاثة أقسام من هذه العمليات الجنسية الجانبية : تحويلات وتزاوجات وانتقالات عبر وسيط . وفي جميع هذه الحالات تنتقل الجينات في اتجاه واحد من خلية معطية (Donor cell) إلى أخرى مستقبلة (Recipient cell). ولكن لا يحدث تبادل انتقال منتظم بين الخليتين كما في حالات التكاثر الجنسي بالنباتات الراقية .

وفي التحويلات (Transformations) تنتقل قطع صغيرة من الحامض النووى (د ن أ) - أحياناً جين واحد فقط - من إحدى الخلايا البكتيرية إلى خلية أخرى دون تكوين منفذ مباشر تسلكه القطع المنتقلة ، ودون أن يكون انتقالها عن طريق فيروس يحملها ، وإنما تنتقل قطعة الـ « د ن أ » إلى الوسط الخارجى المحيط بالخلية ، ومن ذلك الوسط تأخذ الخلية المستقبلة بعملية فيزيوكيميائية معقدة . ومن الممكن إجراء مثل هذه العملية تجريبياً في المختبر باستعمال المواد المفترزة من إحدى سلالات نوع من البكتريا لنقل صفات وراثية من تلك السلالة إلى سلالة أخرى . وبديهي أن مثل هذا النوع من الانتقال - أو شيئاً قريباً منه - لا بد أن يكون مما يحدث في الطبيعة . وتندمج قطعة الـ « د ن أ » المنقولة داخل الجهاز الجينى للخلية المستقبلة في نفس الموضع المقابل لموضعها في الخلية المعطية . ولذلك فإن احتمالات نجاح « التحويلات » (Transformations) لا تتوفر إلا في الحالات التى يتشابه فيها

التعاقب في ترتيب الجينات على الكروموسوم البكتيرى ، كما فى سلالات النوع الواحد ، ومع ذلك فقد أمكن إجراء انتقالات ناجحة بين بكتريا من أجناس مختلفة . ويتمثل تعبير الجينات المنقولة عن نفسها فى تغير الشكل الظاهرى للبكتيرة المستقبلية ، وتغير أشكال مستعمراتها فى المزارع البكتيرية ، وتغير قدرتها على إحداث الأمراض إن كانت من البكتريا الممرضة .

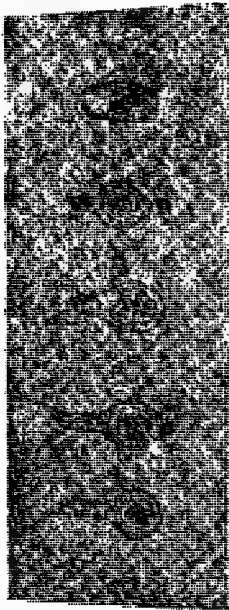
أما التزاوج البكتيرى (Bacterial Conjugation) فيتضمن تكوين أنبوبة تزاوجية تصل ما بين خليتين متجاورتين (شكل ١٥٢) نستطيع أن تنتقل عن طريقها البلازميدات (Plasmids) ومادة « دن أ » الكروموسومية من إحدى الخليتين إلى الأخرى ، ويكون الانتقال فى اتجاه واحد فقط ، ولا ينتقل عادة سوى أحد خيطى الخزلون الكروموسومى المزدوج . ويتم انتقال مادة « دن أ » فى البلازميدة المنتقلة ، وهى على صورة حلقة مغلقة ، ويمكن بعد انتقال الخيط الخزلونى الواحد أن يتضاعف بالانقسام طولياً لكى يستعيد شكله الأصلى كخيط قوقعى مزدوج ، ومن ثم تصبح لكلتا الخليتين المانحة والمستقبلة بلازميدة أعيد تكوينها من جديد . وانتقال مادة « دن أ » الكروموسومية عن طريق قناة تزاوجية ليس شائع الحدوث فى البكتريا ، وحدوثه يتطلب انفصام قوقع « دن أ » المزدوج ليصبح ذا طرفين خالصين ، ويمكن بعد الانفصام أن ينتقل جزء من الشريط المنقسم (وربما الشريط كله) إلى الخلية المستقبلية ، وهناك تستطيع بعض أجزاء الخيط المنقول أن تندمج داخل كروموسوم الخلية المستقبلية .

وغالباً ما يمكن نقل البلازميدات فيما بين أنواع من البكتريا شديدة الاختلاف . وعوامل مقاومة المضادات الحيوية تكون غالباً محمولة على البلازميدات ، وعن طريق التزاوج البكتيرى يمكن حدوث طفرة فى المقاومة البكتيرية لمضاد حيوى معين تتسع لتجاوز النوع البكتيرى الذى نشأت فيه تلك المقاومة أصلاً .

أما الانتقال عبر وسيط (Transduction) فهو انتقال المادة الوراثية من خلية بكتيرية إلى أخرى عن طريق أحد الفيروسات آكلات البكتيريا (Bacteriophage) ، وهى كائنات بالغة الدقة تتطفل على الخلايا البكتيرية وتتغذى عليها . وسيتأتى الحديث تفصيلاً عن الفيروسات فى باب لاحق .

التجراثيم (Sporulation)

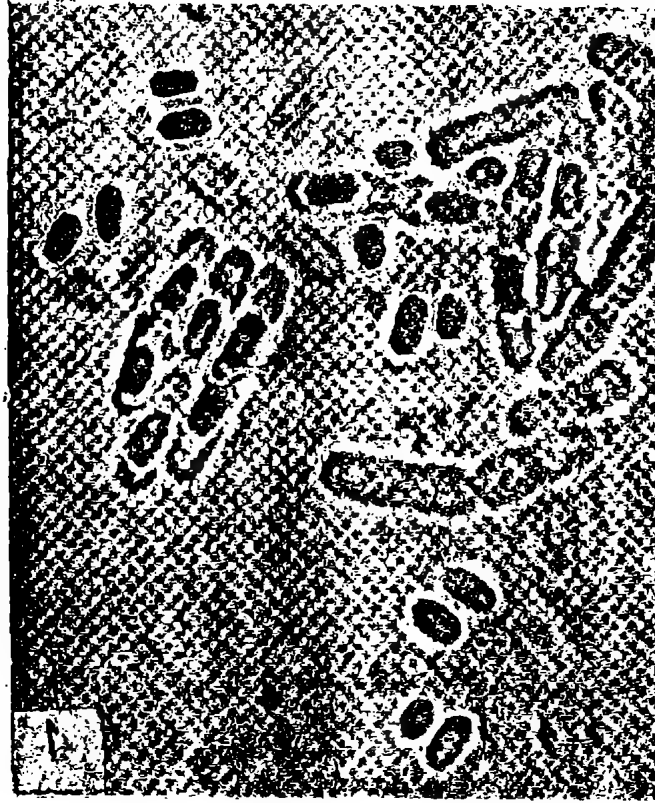
(شكل ١٤٩)



هناك أنواع كثيرة من البكتيريا تنتج خلايا مستكنة ، غليظة الجدر ، شديدة المقاومة للكثير من العوامل البيئية غير الملائمة ، كالجفاف والحرارة العالية والبرد الشديد . مثل هذه الخلايا المستكنة يطلق عليها عادة اسم «جراثيم» (Spores) أو «جراثيم داخلية» (Endospores) ، وتعرف عملية تكوينها باسم «التجراثيم» (Sporulation) . هذه الجراثيم البكتيرية قد لا تكون مماثلة تماماً للجراثيم الكائنات الحية الأخرى . وتخفّض على حدوث التجراثيم ظروف غير ملائمة للنمو ، ولكن الآلية الفسيولوجية فى الاستجابة لهذه الظروف آلية معقدة ، والأرجح أنها تتمثل فى نقص موارد الجلوكون المتاحة للخلية .

طرق تكوين الجراثيم الداخلية
فى مختلف أنواع البكتيريا
المكونة للجراثيم (عن
السكرىبواوس) .

وفى أثناء تكون جرثومة بكتيرية داخل خلية خضرية يحدث تغير فى طبيعة بعض بروتينات البروتوبلازم ، وتتركز معظم مكونات الخلية فيما عدا الماء - فى كتل صغيرة نسبياً يتكون حول كل منها جدار غليظ يغلفها (شكل ١٤٩) ، (شكل ١٥٠) ، وأحياناً تتكون جرثومة واحدة فقط داخل كل خلية خضرية ، إما فى الوسط وإما فى أحد الطرفين ، وفى هذه الحالة ينكش البروتوبلازم فى الخلية



(شكل ١٥٠)



ب

(أ) خلايا بكتيرية خضرية وأخرى متجرّمة وجراثيم أخرى حرة لبكتيرة «باسيلس
سيرْيوس». (ب) خلايا متجرّمة وجراثيم حرة لبكتيرة «كلوستريديم بكتينوفورم»

البكتيرية الخضرية التي يبدأ فيها التجزئ لم يكون جسماً بيضياً أو شبه كروي يحيط به جدار غليظ ، وذلك الجسم هو الجرثومة . وتبدو الجرثومة كجسم لامع داخل جدار الخلية الوالدة التي تعرف عندئذ بالحافظة الجرثومية (Sporangium) . وتعد الجرثومة بمثابة خلية بكتيرية في مرحلة سكون .

وتكاد تنحصر القدرة على تكوين جراثيم داخلية في جنسين من أجناس البكتريا العصوية ، هما باسيلس (Bacillus) وكلوستريديم (Clostridium) يوجد من بين أنواعهما ما تعيش في التربة ، ومنها ما تسبب أمراضاً خطيرة للإنسان مثل أمراض التيتانوس والغرغرينا الغازية والتسمم الغذائي والجمرة الخبيثة . وتتميز الجراثيم الداخلية - بالإضافة إلى شدة مقاومتها للحرارة والتجفيف - بمقاومتها للمطهرات الكيميائية ، فبينما تموت الخلايا البكتيرية الخضرية عادة عند تعرضها لدرجة حرارة ٧٠°م تستطيع الجراثيم أن تتحمل درجة غليان الماء (١٠٠°م) بعضها لفترة تراوح بين خمس وعشر دقائق والبعض لفترة تراوح بين ست وثمان ساعات ، بل توجد قلة منها لا تموت حتى ولو امتدت فترة الغليان إلى ١٦ أو حتى ٢٠ ساعة .

ويكون حجم الجرثومة عادة حوالي $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$ حجم الخلية التي تتكون بداخلها ، كما يكون معظم الماء الموجود بها مقيداً (Bound) لارتباطه بالغرويات المحبة للماء أو لسبب آخر ، وبذلك لا يشترك ذلك الماء في أية تفاعلات كيميائية تحدث داخل الخلية ، وتبطئ أنشطة الحياة كثيراً حتى لا يكاد يظهر لها أى أثر ، وبذلك فإن الجرثومة يمكن اعتبارها عملياً ذات حيوية معلقة أو كامنة . والمعتقد أن المقاومة الفذة التي تبديها الجراثيم البكتيرية الداخلية للعوامل البيئية والكيميائية - التي تسبب إماتة الخلايا الخضرية العادية - إنما ترجع أولاً إلى عدم النفاذية النسبية التي تتميز بها جدرانها الخارجية ، وثانياً لوجود معظم ماؤها في حالة مقيدة وشديدة الارتباط بالمواد الغروية البروتوبلازمية فيها ، مما يجعل الماء غير حر للاشتراك في عمليات الأيض الكيميائية المختلفة .

ومن الجدير بالذكر أن تجارب كثيرة أجريت لاختبار مدى مقاومة الجراثيم واحتمالها للعوامل غير الملائمة ، منها تجربة وضعت فيها الجراثيم في أواني مغلقة بإحكام ومفرغة من الهواء وتحت درجة حرارة الهليوم السائل (- ٢٦٩° إلى - ٢٧٣° م) ولم تفقد قدرتها على إنتاج خلايا خضرية نشيطة بعد زوال العوامل المؤثرة . ومقاومة الجراثيم للجفاف هي بلا شك شبيهة بمقاومتها للبرد الشديد من حيث اعتمادها على نزع الماء منها وبقاؤها حتى منه بداخلها وبالتالي توقف نشاطها الأبيض المعتاد .

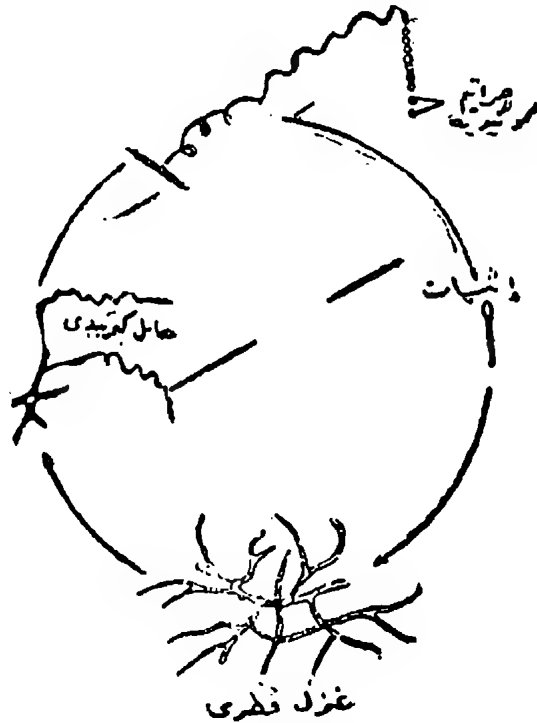
وهناك أيضاً كثرة من البكتريا تستطيع احتمال درجات الحرارة الأقل كثيراً من درجة التجمد مع احتفاظها بحالتها الخضرية ، وفي مثل هذه الحالات تموت معظم تلك البكتريا بمجرد انتهاء تعرضها للبرد أو بعد ذلك بقليل ، ولكن القلة من الأفراد التي تظل حية بعد انتهاء تعرضها للبرد قد يستمر بقاؤها أمداً طويلاً بغير حدود ، رغم أنها - كخلايا خضرية - ليست كالجراثيم في مستوى احتمالها للبرودة .

ويظل البوغ (أى الجرثومة) الداخلى في حالة سكون ما بقيت الظروف غير ملائمة لإنباته ، حتى إذا ما توفرت الظروف الملائمة مرة أخرى تحولت الجرثومة إلى خلية خضرية شبيهة تماماً بالخلية الأبوية التي نشأت منها ، حيث تأخذ في الانتفاخ ، ويتمزق جدارها الغليظ ، وتحرر منه الخلية الخضرية النشيطة يغلفها جدارها الرقيق الجديد . ويؤدى إنبات كل جرثومة إلى إنتاج خلية خضرية واحدة . ولذلك لا يمكن اعتبار جراثيم البكتريا التي تنتج منفردة وحدات تكاثرية بمعنى الكلمة لأنها لا تؤدى إلى زيادة في عدد الأفراد . وفي ذلك تختلف جراثيم البكتريا عن جراثيم الكائنات الأخرى .

التكاثر بالجراثيم الكونيدية (Conidia)

توجد بين فصائل البكتريا الخيطية فصيلة تعرف بفصيلة الفطريات السبجية (Streptomycetaceae) تتميز بأنها تشبه الفطريات الحقيقية

(شكل ١٥١)



دوره حياة الفطيرة البقية نسين
كيفية تكوي الجراثيم الكونيدية . (عن
الكسودولوس) .

كفطريات العفن مثلا - في كونها خيطية ، ولكنها تختلف عنها من حيث
افتقارها إلى نواة حقيقية كذلك الموجودة في فطريات العفن ، إلا أنها
تشبهها في طريقة تناسلها لا جنسياً بتكوين سلسلة من الجراثيم الكونيدية
(Conidiospores) (شكل ١٥١) التي تنشأ نتيجة لتكون جدر فاصلة متعاقبة
في الأجزاء الطرفية للخيط ، وتعد هذه الطريقة تكاثرية ، مثلها كمثل
الانشطار الثنائي في البكتريا الحقيقية . وتشبه الجراثيم الكونيدية الجراثيم
الداخلية .

(فروع علم البكتيريا)

تعد دراسة البكتيريا من الدراسات المتشعبة الأهداف ، ومن ثم فينقسم علم البكتيريا (Bacteriology) إلى عدة فروع أهمها علوم البكتيريا الطبية والصناعية وبكتيريا الأغذية والألبان والتربة (أو البكتيريا الزراعية) ، وسنتحدث عن أهداف كل فرع من هذه الفروع في إيجاز .

علم البكتيريا الطبية (Medical Bacteriology) :

يختص علم البكتيريا الطبية بدراسة البكتيريا التي تصيب الإنسان وما تسببه له من أمراض ، وإيجاد الطرق المختلفة لمقاومة نموها ومعالجة أمراضها ، وقد تمخضت هذه الدراسات عن تحضير اللقاحات أو الفاكسينات (Vaccines) والأمصال المضادة للسموم البكتيرية (Antitoxin serums) والمواد المقاومة للميكروبات داخل جسم الإنسان . فما هو مروف أن البكتيريا المسببة للأمراض التي تصيب الإنسان تفرز سموماً داخل الأجسام ، هي التي ينتج عنها ما يظهر على المريض من أعراض مرضية قد تودي بحياته . ولا تقف الأجسام الإنسانية مكتوفة الأيدي أمام مهاجمة البكتيريا ، بل توجد بها آلية خاصة تعمل على معادلة السموم البكتيرية أو التقليل من تأثيرها ، كما تعمل على إضعاف أو قتل الميكروبات المنتجة لها . والمناعة التي يبديها الجسم ضد الميكروب إما أن تكون مناعة طبيعية (Natural immunity) مستمدة من عمل الآلية الجسمية ذاتها . أو مناعة صناعية (Artificial immunity) — وتعرف أيضاً بالمناعة المكتسبة (Acquired immunity) يكتسبها الجسم نتيجة لحقنه بلقاحات صناعية تعمل على معادلة السموم البكتيرية أو تحدد من تأثيرها .

أما المناعة الطبيعية فتتمثل فيما تقوم به كريات الدم البيضاء من مهاجمة البكتيريا والعمل على التقليل من تأثيرها ، ويتراوح عددها كريات الدم البيضاء بين سبعة وثمانية آلاف في كل ملليمتر مكعب من الدم . ويكون الدم أيضاً

مواد خاصة تعمل على تلازن (Agglutination) البكتيريا وتغليفها بمادة هلامية - نتيجة الذوبان جدرها الخارجية - حتى يسهل مهاجمتها والتغلب عليها بواسطة كريات الدم البيضاء ، وتعرف مثل هذه المواد بالأجسام المضادة المجمعة أو الملزانات (Blocking antibodies or Agglutinin) .

وتستطيع كرية الدم البيضاء أن تلتهم خمسين بكتيرة مجمعة بقدرة تفوق خمسين مرة قدرها على التقاط هذه البكتيريا وهي منفصلة ، كما يتم ذلك في وقت أقصر بكثير . وتستغل خاصية تكوين الملزانات في تشخيص بعض الأمراض البكتيرية التي تصيب الإنسان ، فإذا كان المريض مصاباً بحمى عجز الطبيب عن تشخيصها ، ولنفرض مثلاً أن الغرض تشخيص ما إذا كانت الحمى تيفوئيداً ، فإنه يستنزف جزء قليل من دم المريض ويترك ليتجلط . ثم يفصل ما به من مصل ، ويخلط بمعلق مائي من بكتيريا التيفوئيد ، فإذا كان المريض مصاباً بحمى التيفوئيد احتوى المصل على الملزانات الخاصة بها وتجمعت البكتيريا في كتل هلامية . أما إذا كان المريض غير مصاب بها فتظل بكتيريا التيفوئيد معلقة . ويكون دم المصاب - بجانب الملزانات - مواد كيميائية مضادة تعمل على معادلة السموم البكتيرية وإبطال تأثيرها ، وتعرف باسم مضادات السموم (Anti-toxins) .

أما المناعة المكتسبة فهي مناعة صناعية توصل إليها العلم بتقليد وتعزيز الآلية الجسدية - أو المناعة الطبيعية - لمقاومة المهاجمات البكتيرية ، وتستخدم لإكساب المناعة الصناعية طرق شتى ، وذلك إما باستحداث الجسم الحي لإفراز مضادات السموم باستعمال اللقاحات أو الفاكسينات (Vaccines) ، وإما بتحضير هذه المضادات في أجسام الحيوانات واستنزاف مصل الدم منها وحقنه في جسم الإنسان بطريقة الأمصال المضادة للسموم (Antitoxin serums) .

اللقاحات أو الفاكسينات : تهدف اللقاحات نحو حقن الأجسام بالبكتيريا الميتة المسببة للمرض أو بسمومها أو بسلالات موهنة منها غير ممرضة ، وذلك لاستحداث الجسم لتكوين مواد مضادة للسموم تكسبه مناعة صناعية ، وهناك ثلاثة أنواع من اللقاحات :

(أ) لقاحات بالسموم الخارجية : وتستغل في حالة الدفتيريا ، حيث تربي البكتيرة المسببة للمرض على منابت غذائية خاصة ، وترشح المزرعة البكتيرية خلال مرشحات خزفية خاصة تحول دون نفاذ البكتيرة ولكنها تسمح بمرور توكسيناتها الخارجية (Exotoxins) ، ويحقن الجسم تحت الجلد بالمحلول المرشح الذي يحتوي على السموم الخارجية ، فيستجيب لها بتكوين مواد مضادة تكسبه مناعة صناعية .

(ب) لقاحات لبكتيريا ميتة : وتستهمل في حالة التيفوئيد والباراتيفوئيد ، ويتم قتل البكتيريا بتعريضها لدرجات حرارة عالية أو لتأثير الأشعة فوق البنفسجية ، وتستحث البكتيريا الميتة الدم لتكوين مواد مضادة بسبب ماتحتويه من توكسينات داخلية (Endotoxins) . وتستغل حديثاً بعض المضادات الحيوية في قتل البكتيريا لتحضير لقاحات البكتيريا الميتة .

(ج) لقاحات لسلاسل حية موهنة : وتستغل لإكساب المناعة الصناعية بحقن الجسم بالبكتيرة المسببة للمرض بعد معاملتها بطريقة خاصة تعمل على توهينها وإبطال قدرتها على إحداث المرض ، كما هو الحال في تحضير لقاح مرض السل المعروف علمياً باسم (ب . س . ج - B.C.G) وهو اختصار للعبارة الإنجليزية باسيل كالميت جويرين (Bacillus Calmette Guerin) ، ويتم توهين البكتيرة المسببة للمرض - والمعروفة علمياً باسم ميكو باكتيريم تيوبر كيولوسيس (Mycobacterium tuberculosis) - بزرعها في منبت غذائي يحتوي على الصفراء ، وهي مادة يفرزها الكبد ، وتعمل على إضعاف حيويته بحيث يفقد قدرته على إحداث المرض ولكنه يستحث الجسم الحي على تكوين مضادات لسموم المرض .

الأمصال المضادة للتوكسينات : تحضر بحقن بعض الحيوانات - كالحیول مثلاً - بجرعات متزايدة من البكتيرة الممرضة أو بسمومها . فيستجيب دم الحيوان لهذه السموم بتكوين مواد مضادة لها تعمل على معادلتها أو مقاومة تأثيرها ، ثم يستنزف دم الحيوان ويحفظ لفصل ما به من كريات دم بيض

وحمر ، ويفصل السائل - أو المصل (Serum) - الذى يحتوى على مضادات السموم ويحقن به الإنسان ، فيكتسب بذلك مناعة ضد المرض ، وتعرف مثل هذه المناعة باسم « المناعة المنقولة » (Passive immunity) ، وتستغل الأمصال المضادة للسموم لإكساب الأجسام مناعة صناعية ضد أمراض الدفتيريا والتيتانوس وغيرها من الأمراض .

المواد المقاومة للبكتيريا : يهدف علم البكتيريا الطبية أيضاً إلى إيجاد مركبات كيميائية (مركبات السلفا وأشباهاها) أو مضادات حيوية (كالبنسيلين والستربتومايسين) لمقاومة البكتيريا المسببة للأمراض الإنسانية والحيوانية ، ويشترط لاستغلال هذه المواد استغلالاً طيباً ألا تكون سامة للإنسان أو للحيوان أو تحول دون قيام بعض الأعضاء بوظائفها الفسيولوجية .

علم بكتيريا الأغذية (Food Bacteriology) :

يبحث علم بكتيريا الأغذية فيما يصيب شتى أنواع الأطعمة بسبب البكتيريا وما تحدثه من تغيرات ، وعلاقة ذلك بما يعود على الإنسان من منافع أو مضار ، والبكتيريا التى تصيب الأطعمة إما أن تسبب حموضتها أو تحدث بها تغيرات غير مستحبة ، أو تسبب تغيرات مرغوب فيها ، أو تسبب أمراضاً خطيرة ، فمن أمثلة البكتيريا التى تحدث تغيرات غير مستحبة تلك التى تصيب الموز - وغيره من الفواكه - فتغير من طعمها وتسبب تعطنها . ومن أمثلة البكتيريا المسببة لتغيرات مرغوب فيها البكتيرة المستغلة فى تحليل الخيار وغيره من المحللات المعروفة ، والتى تعرف علمياً باسم « لكتوباسيلس بلانتارم » (*Lactobacillus plantarum*) ، إذ أن المحلول الملحي المستعمل فى التخليل يعمل على استخلاص بعض المحتويات الداخلية التى تستحث نمو البكتيرة ونشاطها ، وتعمل القدرة الإنزيمية للبكتيرة على إنتاج حمض اللاكتيك ، الذى يتعاون مع المحلول الملحي على تغيير لون وتركيب ومذاق الخيار وغيره من المحللات .

وهناك أمراض كثيرة منشؤها تلوث المواد الغذائية بالبكتيريا ، من بينها التسمم البوتشوليني أو التسمم المنبارى (Botulism) والتسمم الغذائى (Food poisoning) . ويتسبب التسمم البوتشوليني عن سموم خارجية تفرزها بكتيرة تعرف علمياً باسم « كلوستريديم بوتولينم » (*Clostridium botulinum*) التى تلوث عادة بعض الأطعمة المحفوظة مثل اللحوم والأسماك، وهذه السموم شديدة التأثير بحيث تودى كميات ضئيلة منها بحياة المصاب . أما التسمم الغذائى فمسبب عن نوع من البكتيريا العنقودية - يعرف باسم ستافيلوكوكس أورياس (*Staphylococcus aureus*) - ويسبب ما ينتجه من سموم فى المواد الغذائية التهاب الأغشية المبطنه للمعدة والأمعاء . ومن البكتيريا التى تلوث الأطعمة وتسبب الأمراض ما يرجع منشؤها إلى الفواكه والخضراوات التى تنمو فى تربة تستعمل فيها الفضلات البرازية كسماد ، إذ تكون هذه التربة ملوثة بكثير من البكتيريا المعوية مثل بكتيرة التيفويد ، كما قد يتلوث الطعام بالغبار المحمل بالميكروبات أو بما تحمله الأيدي الملوثة التى تتداول الطعام ، أو بالرداذ الذى تلفظه أنوف وأفواه الحاملين للميكروبات ، وتوجد بالإضافة إلى التيفويد أمراض أخرى كثيرة مصدرها الطعام مثل أمراض السل والدفترى والزحار (الدوسنطاريا) الباسيلي والحمى القرمزية .

ومن الأهداف التى يسعى إليها علم بكتيريا الأغذية إيجاد السبل الكفيلة بصيانة الأطعمة المحفوظة وعدم تلوثها بالميكروبات البكتيرية . وهناك عدة طرق لتعقيم هذه الأطعمة قبل حفظها ، وذلك بالتبريد أو بالتسخين أو بالتدخين أو بالتجفيف أو بالتلميح أو بإضافة بعض مواد كيميائية مثل بنزوات الصوديوم وحمض الساليسيليك أو مضادات حيوية (مثل الأوربومايسين والتيراميسين) أو باستغلال الإشعاعات المؤينة مثل أشعة إكس والأشعة فوق البنفسجية والحامية ، كما وجد أن استعمال الضغوط الهوائية العالية يسبب قتل البكتيريا ويعمل على إبطال قدرتها الإنزيمية .

علم بكتيريا الألبان (Dairy Bacteriology) :

يهدف علم بكتيريا الألبان إلى دراسة الموضوعات الآتية :

١ - التعرف على أنواع البكتيريا الموجودة في الألبان لتحديد مدى صلاحية الأخيرة للاستعمال .

٢ - لما كان اللبن معرضاً للتلوث بالبكتيريا المسببة للأمراض فإن هذا العلم يهدف إلى إيجاد الوسائل المتنوعة الكفيلة بإقلال التلوث البكتيري وقتل الميكروبات .

٣ - العمل على الاستفادة صناعياً من بعض أنواع البكتيريا التي تحدث بالألبان تغيرات كيميائية مرغوباً فيها يستفاد منها في تحضير بعض المنتجات اللبنية .

ولما كان اللبن من أنسب المُنابت الغذائية لنمو البكتيريا ، لاحتوائه على جميع ما تتطلبه من احتياجات غذائية ، من بروتينات و كربوهيدرات ودهون وأملاح معدنية (أملاح الكالسيوم والفوسفور والحديد) وفيتامينات (فيتامين أ ، فيتامين ب_١ ، أو ثيامين ، فيتامين ب_٢ أو ريبوفلافين ، فيتامين ج) وماء ، فإنه يكون ملوثاً بالبكتيريا منذ اللحظة الأولى التي تلفظه فيها أثناء البهائم ، ثم يزداد تلوثاً فيما بعد كلما تداولته الأيدي وترك معرضاً للغبار ، ونصيب الإنسان الكثير من الأمراض عن طريق تلوث الألبان ، ويكون مصدر العدوى البقرة المحتلبة أو الإنسان ، وهناك طريقتان يتم بهما الانتقال ، فقد تنتقل البكتيريا الممرضة من البقرة المصابة إلى لبنها ثم إلى الإنسان ، كما في أمراض المل والثهاب الأثداء ، أو تنتقل عن طريق اللبن ذاته من إنسان مصاب أو حامل للميكروب إلى إنسان آخر ، مثل أمراض التيفونيد والدفتيريا والدوسنتاريا الباسيلية والحمى القرمزية .

ولما كان اللبن معرضاً للتلوث بكثير من البكتيريا المسببة لأمراض الإنسان فلا بد من تعقيمه قبل الاستعمال لقتل هذه الميكروبات ، وتعد طريقة التعقيم بالبسترة - نسبة إلى باستير - هي الطريقة الوحيدة المستعملة لتعقيم الألبان ، ويتم ذلك إما بالتسخين عند درجة حرارة ٦١,٧° مئوية لمدة ثلاثين دقيقة أو عند درجة حرارة ٧١,٧° مئوية لمدة خمس عشرة ثانية .

وتستغل عمليات التخمر البكتيرية في تحضير بعض المنتجات اللبنية ، مثل الياغورت (اللبن الزبادى) والبوزا (Busa) في تركستان ، والكفير (Kefir) في القوزاق والبلقان ، ويتكون الأخير نتيجة عمية تخمر تكافلية - أى بالتعاون بين بكتيرة وفطرة خميرة - فنتج الأولى حمض اللاكتيك وتنتج الثانية الكحول الإيثيلى ، وتم عملية التخمر داخل أكياس جلدية مصنوعة من جلد الماعز . ويصنع الكوميس (Kumiss) في بعض المناطق الروسية بعملية تخمر تكافلية - بين بكتيرة وفطرة خميرة - من ألبان إناث الخيل . وتستغل الطاقة الإنزيمية لبعض أنواع جنس « البروبيونيبا كتيريم » (Propionibacterium) في تحضير الجبن السويسرى من اللبن ، إذ تعمل هذه البكتيرة على تخمر حمض اللاكتيك وإنتاج ثانى أكسيد الكربون وحامض البروبيونيك (Propionic acid) والخليلك ، ويعمل ثانى أكسيد الكربون على تكوين الفمجات المميزة لهذا النوع من الجبن ، كما يضاف عليه الحامضان النكهة المميزة له .

علم البكتيريا الصناعية (Industrial Bacteriology) :

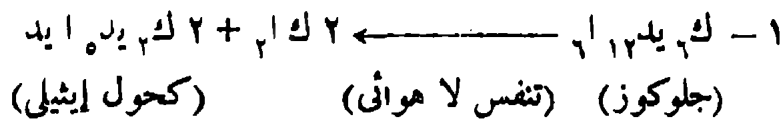
البكتيريا من الكائنات الدقيقة الغنية بمحتوياتها الإنزيمية ، التى تستطيع باستغلالها إتمام الكثير من التغيرات الكيميائية . وتستغل القدرة الإنزيمية للبكتيريا فى كثير من الأغراض الصناعية ، كعمليات التخمر (Fermentation) والتعطين (Retting) وغيرها من العمليات الاقتصادية . والقدرة الإنزيمية البكتيرية إما أن تكون انحلالية ، أى تعمل على تكسير المواد المعقدة إلى مواد أكثر منها بساطة وهداثية . أو بنائية تعمل على تكوين مواد معقدة من مواد أبسط منها . ومن الأوجه التى تستغل فيها الطاقة الإنزيمية الانحلالية للبكتيريا صناعة حمض اللاكتيك (Lactic acid) ، الذى يحضر صناعياً بتأثير إنزيمات بعض أنواع جنس اللاكتوباسيلس (Lactobacillus) على المولاس المتخلف من صناعة سكر القصب وماء الشرش المتخلف عن صناعة الجبن ، حيث تؤثر على السكر الموجود بها وتحوله إلى حمض لكتيك حسب المعادلة الآتية :

ك_١ يد_{١٢} ١ ← ٢ ك يد_٣ ك يد_١ ك ايد
(جلوكوز) (حمض لاكتيك)

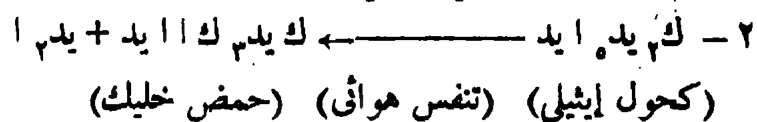
ويستعمل حمض اللاكتيك في كثير من الأغراض الصناعية ، كاستعماله لزيادة حامضية بعض الأطعمة المحفوظة - كالحضراوات ومنتجات الأسماك - لصيانتها من التلوثات البكتيرية . كما يستعمل في بعض مراحل الصناعات الخاصة بالجلود والمنسوجات ، وتستعمل أملاحه الكالسيومية في كثير من التحضيرات الصيدلانية .

أما صناعة حمض الخليك (الخل) فتتضمن مرحلتين : الأولى تخمر مادة كربوإيدراتية (مثل الموجودة في عصير الفواكه أو المولاس) إلى كحول ، والثانية تأكسد الكحول الناتج إلى حمض خليك . ويتم العملية الأولى بوساطة فطرة الخميرة (Yeast) ، ثم تعدل درجة التركيز الكحولية إلى نسبة مثوية مناسبة تتراوح بين عشرة وثلاثة عشر قبل بدء عملية الأكسدة البكتيرية ، وتقوم بالعملية الثانية أنواع من جنس الأسيتوباكتري (Acetobacter) ، وتمثل المرحلتان بالمعادلتين الآتيتين :

(إنزيم الخميرة)



(إنزيم البكتيرة)



وتستغل القدرة الإنزيمية لبكتيرة « الأسيتوباكتري سبأوكسيدانس » (Acetobacter suboxidans) في أكسدة السوربيتول اليميني (D-sorbitol) إلى سوربوزيسارى (L-sorbose) في صناعة فيتامين ج أو حمض الأسكوربيك .

أما استغلال الطاقة الإنزيمية البكتيرية البنائية في العمليات الصناعية فتتمثل في قدرة بكتيرة « ليكونوستوك ميسينترويديس » (Leuconostoc mesenteroides) في تكوين مادة معقدة تعرف بالدكستران (Dextran) من سكر القصب ، ويستعمل الدكستران الناتج طبيياً - بعد تحليله مائياً - كبديل لبلازما الدم في عمليات نقل الدم .

وتستغل الطاقات الإنزيمية لبعض البكتيريا في تعطين الألياف اللحائية لنباتات الكتان والتيل ، حيث تكون هذه الألياف ملتصقة مع بعضها البعض بمادة البكتين ، فتعمل الإنزيمات البكتيرية على إذابتها وتحليلها تحليلًا مائياً ، وبذلك تنفصل الألياف عن بعضها البعض انفصالًا تاماً ، وتعد هذه العملية من الأهمية بمكان في صناعة المنسوجات الكتانية ، كما تقوم بعض أنواع البكتيريا بدور هام في معالجة وتسوية أوراق التبغ ، ويتم ذلك بأن تعلق الأوراق في الظل وتحت ظروف تحول دون سرعة جفافها ، فتقوم البكتيريا بإحداث تغيرات فيها ، من بينها تحليل ما بها من بروتينات وكربوهيدرات ثم تعباً الأوراق بعد ذلك فتحدث بها البكتيريا سلسلة أخرى من التغيرات خلال عدة شهور ، مما يؤثر على نكهة التبغ ، وبالتالي على قيمة السيجار والسجائر التي يستخدم فيها ذلك التبغ .

علم بكتيريا التربة (Soil Bacteriology) :

ويعرف هذا العلم كذلك باسم علم البكتيريا الزراعية (Agricultural Bacteriology) يختص بدراسة مدى انتشار بكتيريا التربة وما تقوم به من شتى وجوه النشاط ، وعلاقة ذلك بخصوبة التربة ونمو النباتات ، كما يهدف نحو إيجاد العلاقة بين البكتيريا والنباتات الراقية - سواء أكانت تكافلية (Symbiotic) أو تطفلية (Parasitic) - ودراسة الأمراض البكتيرية التي تصيب النباتات والعمل على تهيئة الوسائل لمقاومتها وعلاجها . فالبكتيريا تلعب دوراً على أكبر جانب من الأهمية في زيادة خصوبة التربة ، بتكوين

الدبال (Humus) ، وهو المادة المتكونة من البقايا النباتية والحيوانية بعد تعرضها للنشاط الإنزيمى لمختلف أنواع بكتيريا التربة وما يوجد معها من كائنات أخرى دقيقة كالفطريات ، ويعمل الدبال على تحسين الصفات الفيزيائية والتركيبية للتربة ، فيجعلها لينة مسامية ويزيد من قدرتها على الاحتفاظ بالماء ، وتعمل الإنزيمات البكتيرية على تحويل المواد العضوية المعقدة إلى مواد يمكن امتصاصها بواسطة النباتات ، فتحول المركبات المعقدة - كالمركبات الكربونية والنيتروجينية والكبريتية والفوسفاتية - إلى مواد بسيطة تستطيع النباتات الرقيقة امتصاصها واستغلالها .

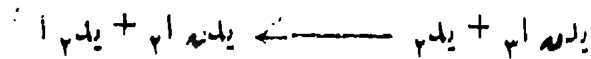
ویدخل فى نطاق علم بكتريا التربة دورتا الكربون والنروجين اللتان سبق وصفهما . وتبدأ دورة النروجين - كما ذكرنا من قبل بعملية انحلال بروتينى (Proteolysis) تعمل فيها بعض البكتريا ، مثل أنواع من الكلوستریدیوم والباسيلس ، بالتعاون مع بعض الفطريات ، على تحويل البروتينات الموجودة فى البقايا النباتية والحيوانية التى بالتربة إلى أحماض أمينية . ثم تعقب عملية الانحلال البروتينى عملية النشطرة التى تلاها كثرة من البكتريا والكائنات الدقيقة الأخرى ، وتودى إلى أكسدة الأحماض الأمينية الناتجة من الخطوة السابقة إلى نشادر وأملاح نشادر . وتأتى بعد النشطرة عملة النيرة التى يتم فيها تحويل النشادر إلى نترينات بتأثير بكتريا النتریت ثم تحويل النترينات الناتجة إلى نترات بتأثير بكتريا النترات .

كما تدخل فى نطاق أهتمامات بكتريولوجيا التربة عمليات تثبيت النروجين الجوى التى تعتبر هى وعمليات النيرة من العمليات المفيدة للتربة ، حيث تزیدان من خصوبتها بالعمل على زيادة محتواها من المواد النروجينية القابلة للامتصاص النباتى . وهناك - كما ذكرنا من قبل - طرازان من البكتريا المثبتة للنروجين : طراز لا تكافلى (Non-symbiotic) من كائنات تعيش حرة فى التربة - مثل الأزوتوباكتر (Azotobacter) وبكتيرة كلوستریدیوم باستيريانم ، (Clostridium pasteurianum) ، وتستطيع استغلال غاز

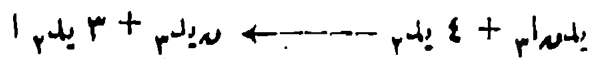
النيتروجين الجزئى الموجود فى الجو كمصدر نيتروجينى لغذائها ، ونحوه إلى مركبات نيتروجينية ، تراكمت بموتها فى التربة وتزيد من خصوبتها ، أما الطراز الآخر من البكتريا المثبتة للنيتروجين الجوى فهو بكتريا متكافلية تعيش متكافلة - أى متبادلة المنفعة - مع جذور بعض النباتات وعلى الأخص أفراد الفصيلة القرنية . ومن أمثلة هذا الطراز من البكتريا جنس رايزوبيا . وتدخل البكتريا الشعيرات الجذرية للنبات القرنى ، حيث تأخذ فى الانقسام والتكاثر بداخلها ، ومن الشعيرات تتقدم إلى داخل خلايا القشرة ، وتتكاثر فيها أيضاً وتعمل على زيادة انقسامها ، مسببة تكوين العقد البكتيرية الخارجية على الجذور (شكل ١٤٧) وتستوفى البكتيرة العقدية من النبات القرنى الذى تتكافل معه احتياجاتها الكربوهيدراتية ، بينما تمدده هى بالمواد النيتروجينية وبالإضافة إلى البكتريا النافعة التى تزيد من خصوبة التربة هناك أيضاً بكتريا ضارة تنقص خصوبة التربة بإنقاص محتواها من المركبات النيتروجينية الصالحة للامتصاص النباتى . هذه البكتريا تتمثل فى البكتريا العاكسة للنيرة التى سبق التحدث عنها والتى يتم بواسطتها اختزال النترات التى فى التربة إلى غاز النيتروجين أو أكاسيده .

ويمكن تمييز ثلاثة طرز من البكتريا الضارة بمختلف حسب قدرتها الإنزيمية على إتمام عمليات الاختزال النترائى أو الانطلاق النيتروجينى ، وهى :

١ - بكتريا تختزل النترات إلى نيتريت (اختزال نيترائى) حسب المعادلة :



٢ - بكتريا تختزل النترات إلى نشادر (اختزال نيترائى) حسب المعادلة



٣ - بكتريا تختزل النترات إلى نيتروجين غازى أو أكاسيده (انطلاق نيتروجينى) ومن أمثلته بكتريا الانطلاق الغازى « ثيوباسيلس ديفيتيريفيكانس »

(Thiobacillus denitrificans) و « ميكروكوكس دينيتريفيكانس »
(Micrococcus denitrificans) .

وهناك فارق أساسي بين عمليتي الانطلاق النيتروجيني والاختزال النيتراقي ، إذ ينتج عن عملية الانطلاق النيتروجيني اختزال كلى للنترات إلى نيتروجين غازي أو إلى أحد أكاسيده مثل أكسيد النيتروز (Nitrous oxide) ، أو إلى مخلوط من النيتروجين وأكاسيده ، أما عملية الاختزال النيتراقي فتعد عكس عملية النيرة تماما ، ولا ينتج عنها سوى تحلل غير كامل للنترات إلى نيتريت أو نشادر ، ومن ثم فعملية الانطلاق النيتروجيني التي تقوم بها بعض البكتريا تعد ضارة للغاية ، حيث يؤدي نشاطها إلى فقد تام لجميع النترات التي تؤثر عليها - مع ما يتبع ذلك من فقد لخصوبة التربة ، أما عملية الاختزال النيتراقي فتعد أقل ضررا حيث يمكن استغلال المتبقى بالتربة من النواتج النيتروجينية للتفاعل في صورة نشادر أو نيتريتات بواسطة البكتريا غير ذاتية التغذية وبكتريا التأزت أو النيرة .

وتختلف عمليتا انطلاق النيتروجين واختزال النترات عن عملية النيرة في كونهما أكثر نشاطا تحت الظروف اللاهوائية للتربة ، وهما يساعد على حدوثهما وجود كميات كبيرة من المواد العضوية والماء بالتربة ، وهما لا ينشطان بدرجة ملحوظة في التربة جيدة التهوية والتي تحتوى على مقادير متوسطة من المادة العضوية والنترات ، ولكنهما يستحثان بدرجة خطيرة في التربة الغنية بالمواد العضوية والمشبعة بالماء ، فيسببان خسارة فادحة في النترات الهامة للنباتات ، الأمر الذي يقلل من خصوبة التربة الزراعية .

وتعيش في التربة أيضاً - كما تعيش في الهواء - بكتريا تصيب النباتات وتسبب لها الكثير من الأمراض ، منها ما تسبب تحويل الأنسجة المصابة إلى كتلة طرية كالعجينة ، ومنها ما تعمل على انسداد الحزم الوعائية للسيقان أو الجذور فتسبب ذبول النباتات ، ومنها ما تسبب أمراضاً ورمية أو بثرات موضعية .

تصنيف البكتريا

فى تصنيف البكتريا يكون لوظائف الخلايا من الأهمية مثل ما لصورها وأشكالها ، بل إن كثيرا من البكتريا تصنف فى الواقع على أساس الوظائف التى تؤديها ، وليس على أساس أشكالها التى تبدو عليها ، ومن الممكن تقسيم ثلاثة الآلاف نوع من البكتريا تقريبا المعروفة حتى الآن إلى عدد من المجموعات الرئيسية على أساس (أ) خصائص الجدار ، (ب) مصدر الطاقة والكربون ، (ج) شكل الخلية ، (د) طريقة الحركة ، (هـ) مدى احتياجها للأكسجين ، (و) التجزئ أو عدمه . وفى تصنيف أصدره برىجى (Bergey) عام ١٩٧٤ قسمت البكتريا إلى الأقسام التسعة عشر الآتية :

- ١ - البكتريا ضوئية التغذية الذاتية (Phototrophic Bacteria)
- ٢ - البكتريا المنزلقة (Gliding Bacteria)
- ٣ - البكتريا الغمدية (Sheathed Bacteria)
- ٤ - البكتريا المتبرعمة وذوات الزوائد (Budding and/or Appendaged Bacteria)
- ٥ - البكتريا اللولبية (Spirochaetes)
- ٦ - البكتريا الحلزونية (Spiral and Curved Bacteria)
- ٧ - البكتريا العصوية والكروية الهوائية السالبة لصبغة جرام (Gram-Negative Aerobic Rods and cocci)
- ٨ - البكتريا العصوية اللاهوائية اختياريا السالبة لصبغة جرام (Gram-Negative Facultatively Anaerobic Rods)
- ٩ - البكتريا اللاهوائية السالبة لصبغة جرام (Gram-Negative Anaerobic Bacteria)
- ١٠ - البكتريا الكروية والعصوية كروية السالبة لصبغة جرام (Gram Negative Cocci and Coccobacilli)
- ١١ - البكتريا الكروية اللاهوائية السالبة لصبغة جرام (Gram-Negative Anaerobic Cocci)

- ١٢ - البكتريا كيميائية التغذية الذاتية السالبة لصبغة جرام
(Gram-Negative chemoautotrophic Bacteria)
- ١٣ - البكتريا المنتجة للميثان (Methane-producing Bacteria)
- ١٤ - البكتريا الكروية الموجبة لصبغة جرام (Gram-Positive Cocci)
- ١٥ - البكتريا العصوية والكروية المنتجة لجراثيم داخلية
(Endospore-Forming Rods and Cocci)
- ١٦ - البكتريا العصوية عديمة التجزئ الموجبة لصبغة جرام
(Gram-Positive Asporogenous Rod-shaped Bacteria)
- ١٧ - الفطريات الشعاعية وأقاربها
(Actinomycetes and Related Organisms)
- ١٨ - الاريكتسيات (Rickettsias)
- ١٩ - الميكوبلازومات (Mycoplasmas)
- وستحدث بإيجاز عن أهم هذه الأقسام (أو المجموعات)

البكتريا ضوئية التغذية الذاتية (١) :

هذه البكتريا سالبة لصبغة جرام ، كروية الشكل أو قضبية أو حلزونية وبعض أنواعها ذوات أهداب ، وتكون خلاياها أحيانا منظومة في سلاسل وتختلف ألوانها بين القرمزي والأخضر والأصفر والبرتقالي والبنى حسب لون الأصباغ شبه الكاروتينية الموجودة بها . وفي بعض الخلايا توجد فقاعات غازية . وهذا القسم من البكتريا لا وجود له إلا في عدد محدود من البيئات المائية ، كبعض البرك الضحلة ، وفي الطبقات العميقة اللاهوائية ببعض البحيرات (عمق ٢٥ مترا) ، وفي الينابيع الحارة الغنية بالكبريتيدات . ويستطيع كثير من أنواع البكتريا التابعة لهذا القسم تثبيت النتروجين ، ويكون جنس كلوروفليكسس (Chloroflexus) كتلا من خيوط بكتيرية برتقالية أو خضراء ، تصل ثخانتها إلى عدة ملليمترات ، وتشبه كتل الطحالب الخضراء المزرقة ، أما جنس هالوكوكس (Halococcus) وهالوبكتريم (Halobacterium) فيعيشان في المياه ذات الملوحة العالية

ولا يحتويان على كلوروفيل بكتيرى ولكن على مادة بروتينية تسمى باكتيورودوبسين (Bacteriorhodopsin) تستطيع امتصاص الطاقة الضوئية وتخليق مادة الأدينوسين تراي فوسفات (ATP) ذات الأهمية القصوى فى نقل الطاقة أثناء التفاعلات التى تحدث داخل الخلايا الحية .

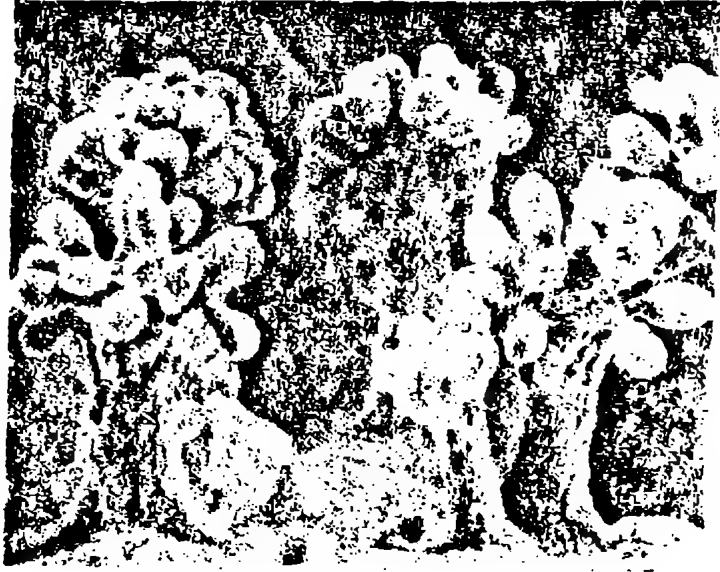
البكتريا المنزقة (٢) :

تضم البكتريا المنزقة كثيرا من الأنواع السالبة لصبغة جرام ، وبالرغم من تسمية هذه المجموعة بالمنزقة فإنها لا تنضم جميع البكتريا التى تتحرك بالانزلاق ، ذلك أن هناك جنسا من البكتريا الخضراء التى تستطيع القيام بعملية البناء الضوئى تتحرك هى أيضاً بالانزلاق ، ولكنها مع ذلك تتبع مجموعة البكتريا ضوئية التغذية الذاتية ، وهذا الجنس هو المعروف باسم « كلوروفلوكسس (Chloroflexus) . وتندرج تحت قسم البكتريا المنزقة مجموعة البكتريا المخاطية (Myxobacteria) ، وهى كائنات قصبية الشكل تكون مستعمرات منغمسة فى مادة مخاطية لزجة . وتنتج أفراد هذه المجموعة جراثيم ، إما أن تكون محمولة فرادى وإما فى مجموعات ذوات أعناق ، كما فى حالة البكتيرة المخاطية المعروفة باسم « كوندروميسس كروكاتس (Chondromyces crocatus) (شكل ١٥٢) وتعيش هذه البكتريا عادة فى التربة ، وتفرز إنزيمات تستطيع إحداث انحلال بيكتيريا أخرى ، أو تمكثها من هضم السليلوز .

السيروكيتات (٥) :

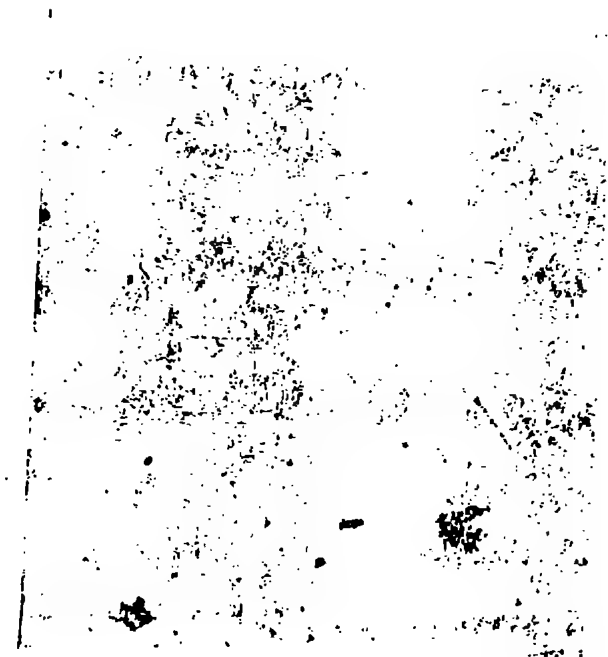
أفراد هذه المجموعة تتميز بخلاياها الطويلة اللدنة اللولبية التى تستطيع أن تسبح بأهداب محورية ، وهى سالبة لصبغة جرام ، وتعيش بعض أنواعها معيشة حرة لاهوائية فى الطين أو الماء ، بينما يتطفل البعض الآخر على الرخويات أو الفقاريات (بما فيها الإنسان) . ويسبب أحد أفرادها المعروف باسم (تريبونما باليسدم) (Treponema pallidum) (شكل ١٥٣)

(شكل ١٥٢)



صورة بالمجهر الإلكتروني للأجسام الثمرية الخاصة بالبكتيرية المخاطية «كوندروميسس كروكاتس»
Chondromyces crocatus (تكبير ٨٢٠ مرة)

(شكل ١٥٣)



بكتيرية نريبونجيا باليدم المسببة لمرض الزهري

مرض الزهري (Syphilis) : كما يسبب جنس بورليا (Borrelia) الحمى المتقطعة (Relapsing fever) وجنس لبتاسبيرا (Leptaspira) نوعا من اليرقان (Jaundice) .

البكتريا الهوائية السالبة لصبغة جرام (٧) :

تضم هذه المجموعة عددا من أجناس البكتريا ذات الأهمية الاقتصادية مثل جنس رايزوبيم (Rhizobium) الذى يثبت النتروجين الجوى بطريقة تكافلية مع النباتات القرنية ، وبكتريا حمض الخليك (Aceric acid Bacteria) التى تنتج الخل ، ومنها أيضاً أنواع تكون سلاسل من الخلايا يحيط بكل سلسلة منها غشاء يغلف الجدر ، ويتكون الغمد من مواد بروتينية وعديدات تسكر (Polysaccharides) وليبيدات ، ومن هذه المجموعة أيضاً خلايا تفرز من حولها طبقة مخاطية تحيط بالخلية ، مكونة مايسمى علبه (Capsule) . ومن أجناس هذه المجموعة جنس كاولوباكتر (Caulobacter) ذو الخلايا المعنقة . ولها مواسك (holdfasts) عند قواعد أعناقها تثبتها فى الطبقة التحتية التى تعيش فوقها .

البكتريا العصوية اللاهوائية اختياريا السالبة لصبغة جرام (٨)

يطلق على هذه البكتريا أيضاً اسم « بكتريا الأمعاء » (Enteric Bacteria) ومن أمثلتها بكتيرة « إيشريشيا كولاي » (Escherichia coli) الموجودة بوفرة فى القناة الهضمية للإنسان ، ومنها أيضاً جنس « سالمونيلا » (Salmonella) الذى يسبب حمى التيفود والتسمم الغذائى ، وجنس « شيجلا » (Shigella) الذى يسبب مرض الديزنتاريا البكتيرية ، وجنس « إروينا » (Erwina) الذى يسبب تعفن الكمثرى وغيرها من الفواكه ، وجنس « يرسينيا » (Yersinia) الذى يسبب مرض الطاعون .

البكتريا كيميائية التغذية الذاتية السالبة لصبغة جرام (١٢)

هذه مجموعة كبيرة الأهمية فى إنجاز دورة المواد الغذائية فى المحيط

البيولوجى ، وهى واسعة الانتشار فى التربة والماء ، كما يوجد بعضها فى الينابيع الحارة ، ويختلف فيها شكل الخلايا بين الكروى والعصى والحلزونى ، وبعضها تتحرك بأسواط والبعض بالانزلاق ، وفى بعضها تكون انشاءات الغشاء البلازمى للداخل غائرة (شكل ١٤٥) وهناك أربعة أقسام من بكتريا هذه المجموعة تختلف من حيث نوع تفاعل الأكسدة الذى يستمد منه الطاقة ، وهى :

بكتريا النيرة يديم ← يديم ← يديم

بكتريا الكبريت يديم ك ب أو ك ب أو ك ب م ← ك ب م

بكتريا الحديد ح ++ ← ح ++ ، م ++ ← م +++

بكتريا الإيدروجين يديم ← يديم

البكتريا الكروية والعصوية المنتجة لجراثيم داخلية (١٥)

هذه المجموعة أيضاً واسعة الانتشار فى التربة . وإذا تلوث جرح عميق بتربة تحتوى على بكتيرة « كلوستريديم » (Clostridium) فإن التلوث قد يصيبه بمرض التتanos أو الغنرينا . كما يمكن أن توجد بكتيرة كلوستريديم أيضاً على الحبوب والخضر كالتمح والبقول ، وإذا لم تقتل بكتيرة « كلوستريديم » (Clostridium botulinum) أثناء عملية تعليب الأغذية البروتينية المحفوظة فلها تنمو وتتكاثر فى المادة المعلبة ، منتجة سماً من أقوى السموم المعروفة ، ومن حسن الحظ أن خطر التسمم بالسموم البوتولينية قد انقشع أو كاد فى الوقت الحاضر بسبب تقدم عمليات التعليب الصناعى للأغذية المحفوظة الدرجة تكفل قتل جميع الميكروبات والجراثيم ، وحتى عمليات التعليب التى تجرى فى المنازل - خارج نطاق المصانع المتخصصة - أصحح يتولاها أشخاص مثقفون جيداً ، مما يجعل من غير المحتمل بقاء أية خلايا من بكتيرة « كلوستريديم » المفترزة للسموم حية داخل المادة المعلبة - تماماً كما يحدث فى التعليب التجارى داخل المصانع .

الفطريات الشعاعية (١٧)

وهي موبجة أصبغة جرام ، لها ثالوسات تشبه ثالوسات العفن وغيره من الفطريات وتنمو الخلايا وتنقسم مكونة خيوطا متفرعة ومتشبكة كالغزل الفطري ، ولا توجد بالخيوط جدار مستعرضة ، وإن وجدت كانت متباعدة أشد التباعد ، وتتكون الجراثيم (أحيانا جراثيم داخلية) في أطراف الخيوط ، وأكبر أجناس الفطريات الشعاعية هو جنس « ستربتومايسس » (Streptomyces) (شكل ١٥١) ، وهو واسع الانتشار في التربة ، وتسبب عن وجوده بوفرة الرائحة المميزة للتربة الرطبة ، ويعتبر جنس ستربتومايسس أحد المصادر الهامة للمضادات الحيوية .

الرايكتسيات (١٧)

وهي عصبوية الشكل قصيرة : سائلة لصبغة جرام ، متطفلة إجباريا لا يمكن زرعها على أوساط غذائية غير حية ولا تستطيع القيام بأنشطتها الأيضية بمنأى عن خلايا أخرى حية ، وهي تسبب في أمريكا الحمى المعروفة باسم « حمى جبال روكى المبرقشة » (Rocky Mountain Spotted Fever) كما أنها تسبب أمراضا أخرى للإنسان مثل حمى التيفوس (Scrub Fever) وتوجد أيضاً في الحشرات التي تمتص عصارة النباتات ، كحشرات المن (Aphids) ، مما يوحى بإمكان وجودها في النباتات أيضاً ، وقد أمكن في عام ١٩٧٠ عزل كائن يشبه الرايكتسيات تماماً من « الحامول » (Dodder) — أحد النباتات الزهرية المتطفلة — ولقد ظل مرض العنب المعروف باسم « مرض بيرس » (Pierce's disease) غامضاً زمناً طويلاً ، وترجع تسميته بهذا الاسم إلى مكتشفه « بيرس » عام ١٨٨٠ ، ولوحظ وجود بكتريا تلازم الأنسجة المريضة ، ولكن لم يستطيع أحد فصل تلك البكتريا ولا زراعتها في مزارع نقية . وقد شغل البحث عن الكائن المسبب لهذا المرض الباحثين زمناً طويلاً يقارب المائة عام ، وفي عام ١٩٧٢ اكتشف كوهين — مستعينا بالمجهر الإلكتروني — وجود كائنات شبيهة بالرايكتسيا في نبات العنب المصاب لها نفس أعراض مرض بيرس .

الميكوبلازومات (١٩)

وتعرف الميكوبلازومات أيضاً باسم « الكائنات شبيهة البليرونيومونيا » (Pleuropneumonia-Like Organisms) ، ويشار إليها عادة بالرمز (PPLO) ، وذلك بسبب ما عرف عنها منذ زمن بعيد من أنها تسبب إصابة الماشية بمرض معد يقال له « ذات الجنب والرئة » (Pleuropneumonia) فيه يلتحم غشاء الجنب في الحيوان المريض مع رئته . ويرجع تاريخ اكتشاف هذا المرض إلى عام ١٨٩٨ حين نجح نوCARD وروكس (Nocard & Roux) في الحصول على الكائنات المسببة لهذا المرض من سائل الغشاء الجنبى لخلايا مصابة به وذلك بنقله إلى منابت خاصة أثريت بدماء أو أمصال ، ووجد المستكشفان أن الكائنات المعزولة تتميز بضعف نموها وضآلته وصغر أحجامها وتعدد أشكالها وقلة اصطباغها ، ونظراً لضآلة أحجامها تستطيع المرور من خلال المرشحات البكتيرية التى تحول دون مرور البكتريا العادية ومن ثم فهم تشارك الفيروسات القدرة على المرور من خلال المرشحات البكتيرية ، وتعد هذه صفة بدائية ، ولوحظ أنها توجد فى المزارع المعملية فى صورة حبيبات تكاد تبلغ فى ضآلة أحجامها حبيبات الفيروسات ، إذ تتراوح أقطارها ما بين ١٢٥ - ١٥٠ ملليمكرون ، إلا أنها تختلف عن الفيروسات الحقيقية فى قدرتها على النمو والتكاثر فى منابت مزرعية خالية من الخلايا الحية ، وذلك على النقيض من الفيروسات التى لا تستطيع النمو والتكاثر إلا على منابت غذائية محتوية على خلايا حية قابلة للإصابة بتلك الفيروسات .

وتتضمن مجموعة الميكوبلازومات أصغر الكائنات الخلوية المعروفة حتى الآن ، إذ يقل حجمها عن ٠,١ ميكرون مكعب ، أى حوالى ١/١٠ حجم خلية بكتيرية عادية مثل خلية « إيشريشيا كولاي » (E. coli) . ولا يوجد جدار خاوى لهذه الكائنات ، وشكل الخلية متغير ، وهى تحتوى على حوالى ربع كمية (د ن أ) الموجودة فى خلية إيشريشيا كولاي ، وبعض الميكوبلازومات تسبب أمراضاً نباتية يتم انتقالها وانتشارها عن طريق حشرات النطاط (Grasshoppers) أو عن طريق التطعيم (Grafting) . وتختلف أعراض المرض ما بين الاصفرار والنمو الشاذ ، كما فى لحاء أشجار الخوخ المصابة (شكل ١٥٤) .

(شكل ١٥٤)



الكائنات الميكوبلازمية فى إحدى الأنابيب الغربالية لنبات الخوخ الذى تظهر عليه أعراض المرض المسمى (مرض الخوخ)

ويبدو أن الميكوبلازومات موزعة على نطاق واسع ، فقد تم عزلها من مياه المجارى ومن المواد العفنة المتحللة ، ومن الكلاب والقطران وغيرها من الحيوانات ، ويمكن إنعاشها على وسط غذائى صناعى يضاف إليه منقوع القلب البقرى ومصل الدم وبعض مواد أخرى .

وهناك أمراض نباتية أهم أعراضها اصفرار النباتات المصابة ، وطالما أطلق على هذه الأمراض اسم « الاصفرارات الفيروسية » (Virus Yellows)

وذلك لأنه كان يعتقد خطأ أنها أمراض فيروسية . وقد أمكن حديثاً إثبات أن أكثر من ثلاثين من تلك الأمراض الاصفرارية إنما سببها الميكوبلازومات . وثمة أمراض أخرى كثيرة كان يعتقد أنها مسببة من إصابات فيروسية ثم ثبت الآن أن سببها الميكوبلازومات ومن أمثلتها بعض أمراض الكثرى والحمضيات والخوخ والكريز . وقد أدى التعرف على المسبب الحقيقي للمرض إلى معرفة العلاج الشافي منه .

وقد أمكن حديثاً عزل الكثير من سلالات جنس « ميكوبلازما » ودراستها تفصيلاً بأحدث التقنيات ، حيث تبين وجودها طليقة الحياة في التربة ومياه المجارى ، كما وجدت متطفلة على الأغشية المخاطية العادية للإنسان والحيوان ، وترتبط بالعديد مما يصيبها من حالات مرضية . وعزلت من الإنسان عدة أنواع متميزة من هذا الجنس ، من بينها نوع يعرف باسم « ميكوبلازما نيوموني » (*Mycoplasma Pneumoniae*) يسبب مرضاً يشبه النيمونيا (ذات الرئة) ، أما النوع الذى قام كل من نوكارد وروكسى بفصله من الماشية وزراعته فهو المعروف حالياً باسم ميكوبلازما ميكويدس (*Mycoplasma mycoides*) .

والأصل في تسمية الميكوبلازومات بهذا الاسم أنه كان يعتقد في وقت من الأوقات أنها تنمو إلى الفطريات ، ومعنى كلمة « ميكوبلازما » هو « البلازما الفطرية » ، ثم تبين فيما بعد - نتيجة لمزيد من الدراسات - أنها أقرب شهاً إلى البكتريا منها إلى الفطريات ، بيد أنها تختلف عن البكتريا الحقيقية في افتقارها إلى وجود جدار محدد للخلية ، حيث لا تحاط الخلية الميكوبلازمية إلا بغشاء رقيق مرن (قابل للتشكل) يقوم بوظيفة الغشاء الخلوى نصف النفاذ ، ومن ثم فالخلية الميكوبلازمية متعددة الأشكال (Pleomorphic) ، على عكس الخلية البكتيرية الحقيقية ذات الشكل الثابت المميز ، كما أن المادة الكروماتينية لا تنتظم في شبه نواة مركزية ، كما هو الشأن في البكتريا الحقيقية ، بل توجد على شكل ليفية طويلة ملتوية في بعض الأجزاء تكاد تشغل جميع حيز الخلية . وتوجد بين الميكوبلازومات أصغر أحجام الخلايا الحية التى تستطيع الاعتماد على نفسها والاستقلال بذاتها

في الحياة ، وذلك برغم تشابه أحجامها مع أحجام فيروس الإنفلونزا والفيروسات الأخرى الهلامية .

الوضع التصنيفي للميكوبلازومات

تشابه البكتريا الحقيقية مع الميكوبلازومات من حيث كونها بدائية النواة وذات قدرة على النمو في منابت غذائية خالية من الخلايا الحية ، إلا أن الميكوبلازومات ترتبط كذلك مع الفيروسات بعدد من الخصائص ، منها ضآلة الأحجام والتشكل والقدرة على النفاذ من خلال المرشحات البكتيرية ، ونتيجة لذلك اعترفت اللجنة الدولية لتسمية البكتريا عام ١٩٦٦ بأن الميكوبلازومات تختلف إلى حد كبير عن البكتريا بحيث تكون بذاتها قسماً خاصاً بها أطلق عليه اسم « مولكيوتات » (Mollicutes) . ومما عزز من ذلك الاتجاه نحو فصل الميكوبلازومات عن البكتريا ثبوت بطلان الاعتقاد السابق بوجود صلة بين الميكوبلازومات والبكتريا ، ذلك أنه ساد الاعتقاد في وقت من الأوقات بوجود علاقة بين الميكوبلازومات وطرز خاصة من النمو البكتيرية تعرف باسم الطرز اللامية (L-forms) ، تتكون تحت ظروف بيئية معينة من أجسام هشة ومرنة ، وتباين في تركيبها ما بين حبيبات دقيقة يبلغ قطرها ٢ ميكرون وتمر من خلال المرشحات البكتيرية وكريات كبيرة نسبياً تصل أقطارها إلى عشرة ملليميكرونات . وتتكون هذه الطرز نتيجة لما يعزى الخلايا البكتيرية من انحلال أو التفاف مع التقدم في السن أو التعرض لظروف بيئية غير ملائمة . وتختلف هذه الطرز اللامية من البكتريا عن الميكوبلازومات في كونها غير قادرة على التطفل بحال من الأحوال .

وتعد الميكوبلازومات والبكتريا من بدائيات الأنوية اللايخضورية (Non-chlorophyllous Procaryotes) . وإذا كانت الميكوبلازومات تعد حلقة اتصال بين البكتريا والفيروسات فإن الفجوة الواسعة بين هذين القسمين أمكن تضيقها مؤخراً إلى حد ما باكتشاف كائنات تتوسط في خواصها بين الميكوبلازومات والبكتريا ، ألا وهي مجموعة الرايكيتسيات (Rickettsiae) التي كانت تصنف من قبل في رتبة خاصة من البكتريا تعرف

باسم رايكنتسيات (Rickettsiales) ، ولكن البعض يصنفها مع الفيروسات لمشابهتها للأخيرة في بعض الصفات ، ويضعها تحت قسم خاص منها أطلق عليه اسم « ميكروتاتوبيوتات » (Microtobiotes) .

وفيما يلي مقارنة جدولية بين الفيروسات والميكوبلازومات والرايكنتسيات والبكتريا من حيث الشكل والحجم ونوعية التطفل والتغذية والنفاذ خلال المرشحات .

مقارنة بين الفيروسات والميكوبلازومات والرايكنتسيات والبكتريا

جدول ٣

الكائنات	الشكل الخارجى	الحجم ميكرون	نوعية التطفل	التغذية	النفاذ من خلال المرشحات
فيروسات	بلورات نيوكليوبروتينية (عديدة التشكل)	٠,٣-٠,١	إجبارى	غير خلوى	نافذة
ميكوبلازومات	حبيبات بروتوبلازمية (عديدة التشكل)	١,٥-٠,١	اختيارى	خلوى (عديم الجدار)	نافذة
رايكنتسيات	عصوية أو كروية أو في ثنائيات أو سلاسل كروية	٠,٦-٠,٣	إجبارى	خلوى (له جدار)	بعضها نافذة والبعض غير نافذة
بكتريا	عصوية ، كروية ، حلزونية ، لولبية - خيوطية	٥-٠,٥	اختيارى	خلوى (له جدار)	غير نافذة

يتضح مما تقدم وجود اختلافات كثيرة فى رأى بين المصنفين حول وضع مجموعى الميكوبلازومات والرايكنتسيات فبينما يرى برجى وكثيرون غيره إتباعهما للبكتريا يرى آخرون اعتبارهما مجموعتين مستقلتين من بدائيات الأنوية مثلها كمثل الفيروسات والبكتريا والطحالب الخضراء المزرقة.

الباب الخامس عشر

الطحالب الخضراء المزرقة والفيروسات

أولاً : الطحالب الخضراء المزرقة

BLUE-GREEN ALGAE, CYANOPHYCEAE OR CYANOBACTERIA

يعالج علم الميكروبيولوجيا دراسة الكائنات بدائيات الأنوية عامة ،
وتقسم بدائيات الأنوية في رأى الكثيرين إلى الأقسام الرئيسية الآتية :

- ١- البكتريا الخضراء المزرقة : (Cyanobacteria) ، وتسمى أيضاً الطحالب الخضراء المزرقة (Cyanophyceae) ، وهى نباتات خضراء تستطيع القيام بوظيفة البناء الضوئى ، وينتج الأكسجين فى تلك العملية .
- ٢- البكتريا : (Bacteria) ، وهى إما أن تكون غير محتوية على كلوروفيل (وهى الأكثرية) أو يكون بها كلوروفيل (وهى قلة) ، والأخيرة لاينطلق منها أكسجين فى عملية البناء الضوئى .

٣- الفيروسات : (Viruses) ، وجميعها متطفلة إجبارية على الكثير من أنواع النبات والحيوان - ومنها الإنسان - وتعيش داخل الخلايا الحية لعوائلها مسببة لها أمراضاً خطيرة . ولاتكاد توجد صلة تصنيفية تربط الفيروسات بالقسمين الآخرين : الطحالب الخضراء المزرقة والبكتريا .

وقد تحدثنا فى الباب السابق عن القسم الثانى وستحدث فى هذا الباب عن القسمين الأول والثالث .

فى عام ١٨٣٦ قسم العالم النباتى الإيرلندى هارفى الطحالب إلى الأقسام الثلاثة الآتية :

- ١- الطحالب الحمراء .
- ٢- الطحالب البنية .

٣- الطحالب الخضراء والخضرة المزرقه .

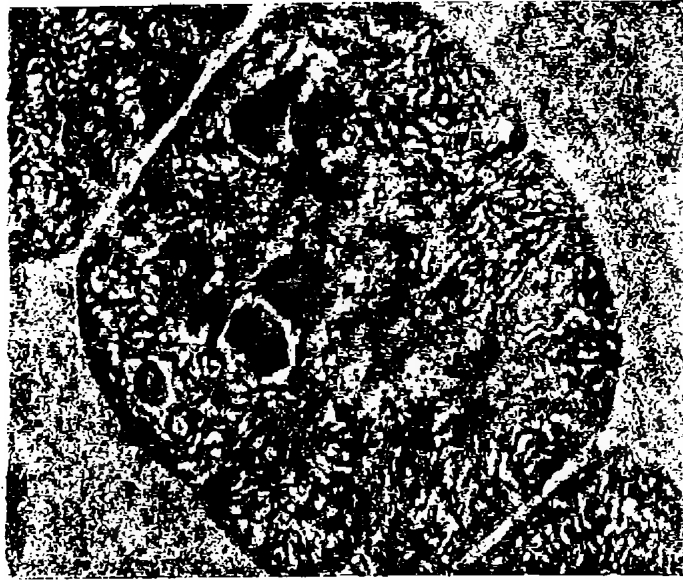
وبذلك أتبعنا الطحالب الخضراء المزرقه للطحالب الخضراء ووضعنا معا في قسم واحد ، ولم يبدأ تمييز الطحالب الخضراء المزرقه كقسم مستقل ومنفصل عن الطحالب الخضراء إلا في عام ١٨٥٣ بواسطة ولهم فون نيغلي (Wilhelm von Naegeli) السويسري ، وكان أقدم اسم وضع لهذه الطحالب هو « الطحالب المخاطية أو الهلامية » (Myxophyceae) ، ولكن الاسم الأكثر شيوعا الآن هو الطحالب الخضراء المزرقه .

ويمكن تعريف الطحالب الخضراء المزرقه بأنها نباتات انشطارية (Schizophyta or Fission Plants) . بدائية النواة ، يوجد بها صبغ اليخضور « ا » (Chlorophyll a) وأصباغ فيكوبيلين (Phycobilin Pigments) وتستطيع أن تطلق غاز الأكسجين نتيجة لعملية البناء الضوئي التي تقوم بها . وتتميز عن بقية أقسام الطحالب بتعضيها البروتوبلازمي بدائي النواة ، بينما تتميز عن البكتيريا بقدرتها على القيام بوظيفة البناء الضوئي ، والقلة من البكتيريا التي تقوم بوظيفة البناء الضوئي لا يوجد بها كلوروفيل (أ) الموجود في الطحالب الخضراء المزرقه ، كما لا ينطلق منها غاز الأكسجين كأحد نواتج تلك العملية . كذلك تختلف الطحالب الخضراء المزرقه عن البكتيريا من النواحي الكيميائية والسيولوجية والأبضية والمورفولوجية جميعا ، ويتراوح حجم خلاياها ما بين ٥ ، ٥٠ ميكرونا ، بالمقارنة بحجم الخلايا البكتيرية الذي يتراوح ما بين ٠.١ ، ٥ ميكرونات ، وبالخلية الطحلبية الخضراء المزرقه ضعف ما بخلية بكتيرية حقيقية مثل بكتيرة إيشيرشيا كولاي من مادة (د ن ا) .

ولقد كان الدافع إلى تسمية هذه المجموعة من الكائنات بدائية النواة باسم « الطحالب الخضراء المزرقه » هو مشابقتها للطحالب الخضراء حقيقية النواة ، ولبنية النباتات الخضراء الأرقى من الطحالب في القدرة على القيام بعملية البناء الضوئي بطريقة مماثلة لما يحدث في البلاستيدات الخضراء

ومع ذلك فإن تزايد الإحساس مؤخرًا بأن هذه الكائنات أقرب صلة إلى البكتيريا الحقيقية منها إلى الطحالب الخضراء والنباتات الراقية من حيث خصائصها الكيموحيوية وأنويتها البدائية قد أدى إلى تفضيل تسميتها بالبكتيريا الخضراء المزرقّة بدلا من الطحالب الخضراء المزرقّة .

وتنتج الطحالب (أو البكتيريا) الخضراء المزرقّة - إلى جانب صبغ كلورفيل «أ» - أصباغا أخرى إضافية فريدة في نوعها . ويحدث البناء الضوئي على مجموعة من الأغشية المتوازية الممتدة داخل السيتوبلازم (شكل ١٥٥)



قطاع رقيق بالمجهر الإلكتروني في الطحلب الأخضر المزرق « نوستوك برونيفورم » *Nostoc pruniforme* الذي ترى به إحدى الخلايا في حالة انقسام . ويلاحظ أن الحاجز الممتد داخل الخلية يمر بين الصفائح التمثيلية على جانبي الخلية - وهي الصفائح المتعرجة . أما المنطقة الوسطى الخالية من الصفائح فهي الجسم المركزي .

(شكل ١٥٥) ، وليس فقط على امتدادات للداخل من الغشاء البلازمي الخارجي (Plasmalemma) كما في البكتيريا ضوئية التغذية الذاتية ، وهذه الأغشية البلازمية الداخلية قد تكون منقطعة الصلة بالغشاء البلازمي الخارجي .

الأصبغ : (Pigments)

جميع الكائنات الحية التى تقوم بوظيفة البناء الضوئى - فيما عدا جنس البكتيريا المعروف باسم « هالوباكتيريوم » (Halobacterium) يوجد بها بخضور ، ترافقه أصبغ أخرى شبه كاروتينية (Carotenoid pigments) واليخضور الموجود فى الطحالب الخضراء المزرقه هو دائماً يـخضور «أ» ولا يـخضور سواه . ويـخضور «أ» يعتبر طراز اليخضور الأساسى فى جميع الكائنات الحية الى تقوم بالبناء الضوئى - فيما عدا البكتيريا ضوئية التغذية . أما الصبغ شبه الكاروتينى الموجود فى الطحالب الخضراء المزرقه فهو أساساً بيتا كاروتين (B-Carotene) الموجود فى بقية الطحالب وفى النباتات الخضراء الأرقى منها ، كما توجد أيضاً كمية محدودة من صبغين شبه كاروتينيين آخرين هما مكسوزانثين (Myxoxanthin) ومكسوزانثوفيل (Myxoxanthophyll) ، وهناك بعض طحالب خضراء مزرقه أخرى بها أصبغ أخرى شبه كاروتينية .

وبالإضافة إلى يـخضور «أ» والأصبغ شبه الكاروتينية توجد بالطحالب الخضراء المزرقه أيضاً طائفة أخرى من الأصبغ يطلق عليها اسم «فيكوبيلينات» (Phycobilins) . وهى أصبغ إضافية هامة تتميز بها الطحالب الخضراء المزرقه والطحالب الحمراء والكربتومونادات (Cryptomonads) ، والأخيرة مجموعة صغيرة من الكائنات ذوات الأهداب وحيدة الخلية . وهناك نوعان من الأصبغ الفيكوبيلينية وهما الفيكوسيانينات (Phycocyanins) التى تمتص ألوان الطيف الخضراء والصفراء والحمراء ، بينما تنفذ اللون الأزرق ، والفيكويريثرينات (Phycerythrins) وهى التى تمتص الأشعة الخضراء المزرقه والخضراء والصفراء ، بينما تنفذ الأشعة الحمراء . وتحتوى معظم الطحالب الخضراء المزرقه على صبغ الفيكوسيانين الأزرق وبعضها على صبغ الفيكويريثرين الأحمر أيضاً ، وقلة تحتوى على الفيكويريثرين ولكنها تفتقر إلى الفيكوسيانين وبذلك تبدو حمراء . ويقال إن البحر الأحمر

يشتق اسمه من وفرة وجود طحلب أخضر مزرق به يعرف باسم تريكوديسميوم إريثريم « (*Trichodesmium erythraeum*) لونه أحمر بسبب قوة تركيز الصبغ الأحمر به . وينتشر وجوده بكثرة في بعض الأوقات وبعض المواضع حتى يضمنى على الماء لونا أحمر . وغالباً ما تكون الأصباغ الفيكوسيانينية والفيكوارثرينية الموجودة في الطحالب الخضراء المزرقة غير مماثلة تماماً لنظائرها في الطحالب الحمراء وفي الكروبتومونادات ، ويكون الاختلاف عادة في بعض خصائص طفيفة للمكون البروتيني في هذه الأصباغ ،

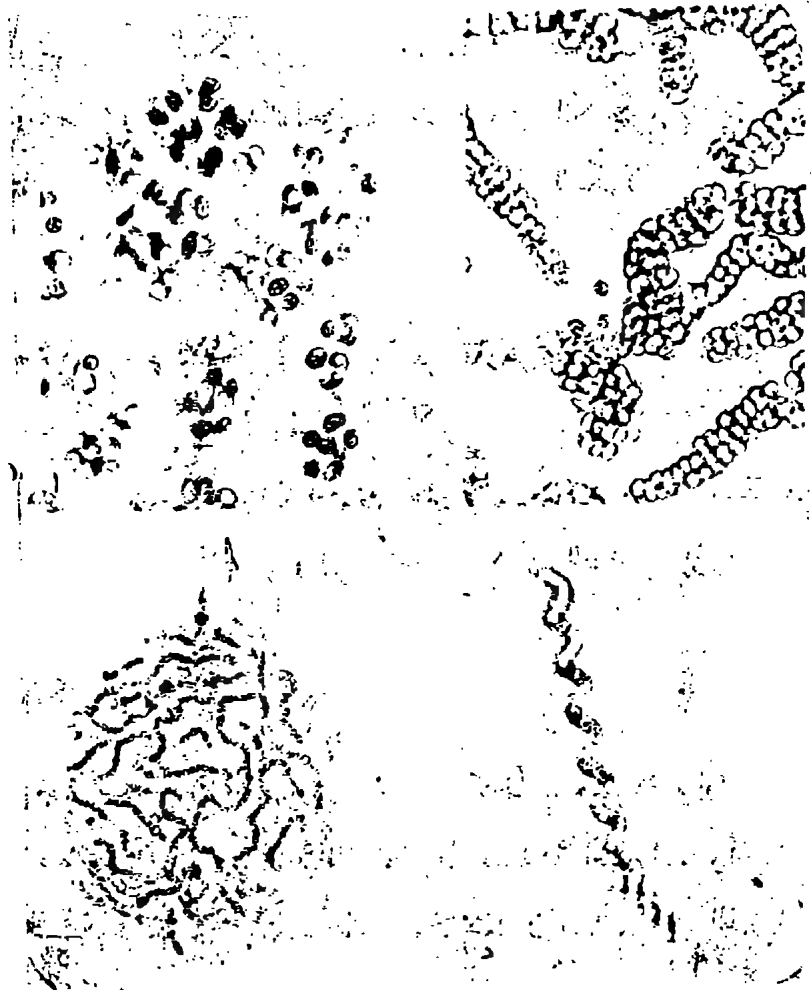
واللون العام للطحالب الخضراء المزرقة هو ما يدل عليه اسمها ، ولكن اختلاف أنواع الأصباغ ونسبها في الأنواع المختلفة من تلك الطحالب يمكن أن يؤدي إلى ظهور ألوان أخرى كثيرة ، منها درجات مختلفة من اللون القرمزي والأحمر والأصفر والبني والأسود (أى الضارب إلى السواد) .

الشكل الخارجى :

يوجد الطحالب الخضراء المزرقة إما كخلايا منفردة وإما كمستعمرات خلوية صغيرة كما توجد أحيانا كخيوط متعددة الخلايا ، وأحيانا تتجمع هذه الخيوط نفسها في مستعمرات ، وقد تكون مستعمرات الخلايا مفلطحة رقيقة سمكها خلية واحدة ، أو تكون كروية وجوفاء ، أو تكون مطولة (*Elongate*) وخطية (*Quasi-filamentous*) ، أو تكون مصمتة ومكعبة أو عديمة الشكل (شكل ١٥٦). وقد تظل الأعمدة الجيلاتينية التى تغلف الخلايا ظاهرة بوضوح في الطرز المستعمرية أو تختفى ، أما في الطرز الخطية الحقيقية فإن جدر معظم الخلايا المتجاورة تتلاصق مباشرة دون أعمدة تفصلها عن بعضها البعض . وتسمى كل سلسلة من الخلايا المكونة لخيوط واحد باسم « تريكوم » (*Trichome*) ولكل تريكوم غمد جيلاتيني واحد يغلف جميع خلاياه ، وخلايا الخيط الواحد إما أن تكون جميعها متماثلة . وإما غير

مماثلة . ومن أمثلة الطرز الخيطية للطحالب نوستوك (Nostoc) (شكل ١٥٧)
• أوسيلاتوريا (Oscillatoria) .

(شكل ١٥٦)



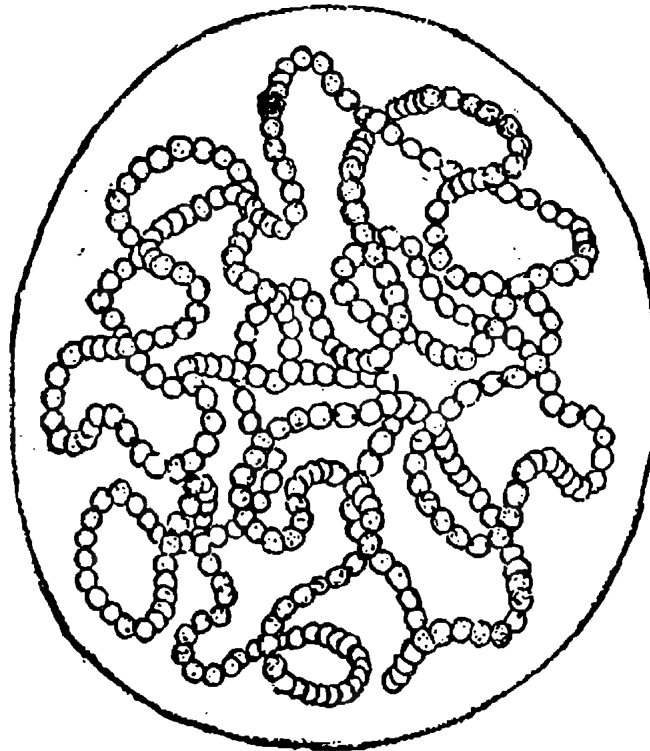
الأشكال المختلفة للطحالب (أو البكتريا) الخضر المزرق . أ ، ب مستمرات مفككة من
أحد أنواع « جليوكابسا » *Gleocapsa* و « فيشريللا ميوسيكولا » *Fischerella musicola*
(X ٨٠٠) . ويلاحظ النمط الجيلاتيني المتين المحيط بالجليوكابسا ، (ج) مستمرة
« نوستوك » *Nostoc* (X ٨٨٠) . (د) الطحلب الخيطي « آرثروسبيرا » *Arthrospira* .
ويلاحظ وجود خيطين ملتصقين أحدهما حول الآخر في الطرف البعيد

ولا توجد للطحالب الخضر المزرق آلية تحرك وانتقال واضحة ، ومع
ذلك فإن بعض طرزها الخيطية تتحرك رغم عدم وجود هذه الآلية ،
إذ يستطيع الخيط بأكمله أن ينحرك ببطء إلى الأمام وإلى الخلف ، إما في

خط مستقيم وإما في مسار حلزوني ، وقد يتحرك طرف الخيط فقط حركة
تموجية بطيئة للأمام والخلف . ولكن آلية هذا التحرك غير متفق عليها حتى
الآن . وتستطيع شعور (تريكومات) بعض الأنواع أن تتحرك بالانزلاق
(Gliding) ولكن لا توجد أسواط (Flagella) على الإطلاق في هذا القسم
من النباتات ، وتحدث الحركة الانزلاقية فقط عندما تلامس الخيوط سطحاً
صاباً . وتتحرك بعض الأنواع الخيطية بتمايل أطرافها (Flexing) .

وتضم الطحالب الخضراء المزرقة نفس طرز وأشكال الخلايا الموجودة في
البكتريا الحقيقية (Eubacteria) . على أن عدداً كبيراً من أكثر هذه الطحالب
انتشاراً هي التي تكون سلاسل من الخلايا أو خيوطاً طويلة ، من ذلك مثلاً
طحلب أوسيلاتوريا المكون من خلايا أسطوانية متصلة ببعضها البعض اتصالاً
وثيقاً عن طريق جذرها الطرفية . ويؤدي أحياناً تكون الأغصنة المخاطية التي

(شكل ١٥٧)



الستعرة الخيطية للتوتوك، وري الموصلات
المفيدة اللامعة بين الخلايا (من سميت وآخرين).

تغلف بها الأنواع وحيدة الخلية نفسها إلى تكاثر تلك الأنواع وبقائها معاً دون تفرق في مجاميع خلوية داخل الأغلفة المشتركة (شكل ١٥٨) .

وتتحور بعض خلايا الطرز الخيطية لأغراض شتى : منها تثبيت الخيط في الطبقة التحتية التي تعيش فوقها ، ومنها التكاثر ، ومنها تأدية وظائف خاصة كتثبيت النتروجين .

التوزيع :

توجد الطحالب الخضراء المزرقة بوجه عام في المياه العذبة والملحة ، وهي أغزر في الأولى منها في الثانية . وتعتبر أحيانا الكائنات التمثيلية الرئيسية في السلاسل الغذائية المائية ، وتغزر بنوع خاص في المياه الضحلة الدافئة الغنية بالمواد الغذائية ، أو الملوثة (Polluted) الفقيرة في الأكسجين . وقد تكون خلايا تلك الطحالب من الكثافة بحيث تلون الماء وتكسبه توردا ظاهرا . وقد يتخذ هذا التورد لونا أحمر في حالة وجود أصباغ إضافية حمراء ، كما في حالة تريكودزميام إرثريام ، وتزول معظم التوردات في خلال بضعة أيام ، ولكن الخلايا يمكن أن تفرز سموم أعصاب مميتة لكثير من الحيوانات التي تشرب أو تستحم في المياه التي تنمو بها تلك الطحالب ، وتستطيع أجناس ميكروستس (Microcystis) وأنابينا (Anabaena) وأفانيزومينون (Aphanizomenon) جميعاً أن تفرز سمومها في الماء ، وقد وجد أن نصف ملليجرام من سم طحلب ميكروستس تكفي لقتل فأر في خلال ساعة واحدة .

وهناك طحالب خضراء مزرقة أخرى يمكن أن توجد في الطبقات السطحية من التربة ، وعلى الشواطئ الصخرية في المدى الذي يصل إليه رذاذ البحر فيما يلي الحد الأعلى للمد مباشرة ، كما توجد تلك الطحالب أيضاً في الارتفاعات الشاهقة ، وفي الأراضي الغدقة الحامضية ، وفي الينابيع الساخنة القلوية عند درجات حرارة قد تصل إلى ٧٥° م وحول تلك الينابيع .

وهناك أنواع منها تعيش متكافلة في أنسجة الأشن والنباتات الكبدية (Liverworts) والسيكادات والسراخس ، وكذلك في خلايا بعض الحيوانات الأولية (Protozoa) .

(شكل ١٥٨)



Anabaena

(الطحالب الخضراء المزرقة أنابينا)

وتوجد الطحالب الخضراء

المزرقة في البيئات الرطبة - على سطح الأرض أو - تحت السطح مباشرة في جميع أنحاء العالم ، وتكون أغزر قرب السطح منها على أعماق تتجاوز البضع أقدام. والبيئات المشمسة التي يغطيها غشاء رقيق من الماء لفترات طويلة تستقر بها عادة طحالب خضراء مزرقة تصبح سائدة خلال فترات الجفاف . والبرك المؤقتة أكثر تعرضاً لنمو طحالب خضراء مزرقة بها من أية بيئة أخرى .

وكثير من الطحالب الخضراء المزرقة تعيش مرافقة لكائنات أخرى ، إما مرافقة تكافل (Symbiosis) أو تطفل (Parasitism) أو تعلق (Epiphytism) أو معايشة (أي موأكلة) (Commensalism) . وهناك أيضاً من هذه الطحالب ما تعيش داخل خلايا كائنات أخرى كمختلف أنواع الفطريات والحيوانات الأولية والطحالب الأخرى ، حيث تمدّها بالغذاء دون أن تستمد منها في المقابل شيئاً يذكر أو تستفيد من علاقتها بها ، ويطلق على تلك العلاقة اسم « الاسترقاق » (Helotism) .

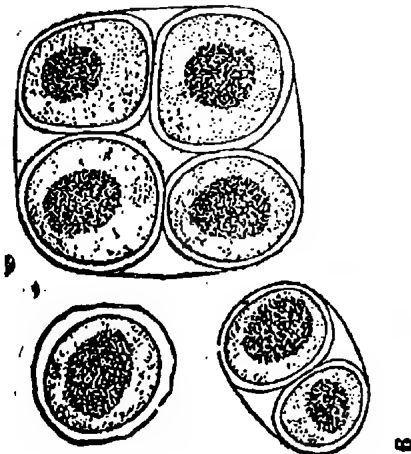
تركيب الخلية ووظائفها :

تتركب كل خلية من خلايا الطحالب الخضراء المزرقة من كتلة حبة

(بروتوبلاست) يحيط بها جدار مغلف من الخارج بغمد جيلاتيني ، والمكون الرئيسي للجدار عبارة عن واحد أو أكثر من مجموعة من الميوكوبوليمرات (Mucopolymers) تتركب من جلوكوز أمينى (Glucosamine) وأحماض أمينية (Amino acids) وحمض الموراميك (Mauramic Acid) ، بالإضافة إلى بعض الجلوكوبيرانوز (Glucopyranose) والجالاكتور (Galactose) والبننوزات . ومعظم هذه المواد تتبع المجموعة العامة المعروفة باسم أنصاف السليلوزات (Hemicelluloses) ، وكما فى حالة البكتيريا يمكن اعتبار أن هذه المواد مجتمعة تكون ما يسمى ببتييدوجليكان (Peptidoglycan) — المكون الأساسى للجدار الخلوى البكتيرية . ويحتوى الجدار الخلوى فى معظم الطحالب الخضراء المزرقه أيضاً على سليلوز ، وعلى حسب جنس الطحلب قد يتشكل هذا السليلوز الموجود فى الجدار (أو لا يتشكل) إلى الليفيات التى تشاهد عادة فى جدار حقيقيات النواة ، والغمد الجيلاتينى الذى يغلف الخلية يتكون عادة من مواد بكتينية .

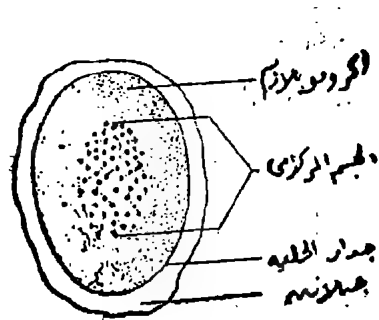
وتتكون البروتوبلاست من جسمين بروتينيين شديدي التحدد والوضوح :
جسم مركزي (Central body) عديم اللون وجسم خارجى مصطبغ يسمى

شكل ١٥٩ (ب)



« جليوكابسا » (Gloeocapsa) — خلية مفردة ومستعمرات منها

شكل ١٥٩ (أ)



تركيب الخلية فى الطحالب الخضراء المزرقه

كروموبلازم (Chromoplasm) ويحتوى الجسم المركزى على الجانب الأكبر من مادة « د ن أ » (DNA) ، فهولذلك ذو طبيعة نووية ، ولكنه غير محاط بغشاء نووى ولا توجد به نوية (Nucleolus) . ولم تدرس بعد مادة « د ن أ » الخاصة بالطحالب الخضراء المزرققة بنفس التعمق الذى درست به فى البكتيريا . ويبدو أن هناك عدة أشرطة من هذه المادة فى الجسم المركزى ، وأن هذه الأشرطة تشبه صبغيات البكتيريا فى أشكالها الدائرية وفى عدم وجود بروتينات ملتصقة بها . والريبوسومات مبعثرة داخل البروتوبلاست ، ولكنها أكثر غزارة فى الجسم المركزى . ولا توجد بالخلية فجوة مركزية .

ويوجد اليخضور والأصباغ شبه الكاروتينية والفيكوبيلينية معاً فى حالة الطحالب الخضراء المزرققة فى وحدات متعضية ذوات أحجام وأشكال مختلفة ، موزعة داخل الكروموبلازم ، وهى التى تكسب النبات لونه الذى يتميز به . وفى بعض الأجناس تتخذ تلك الوحدات التمثيلية شكل حبيبات دقيقة تتراوح أقطارها بين ٠,٣ ، ٠,٥ ميكرون ، وفى أجناس أخرى تتخذ تلك الوحدات شكل أكياس أو أقراص مفلطحة « ثيلاكويدات » (Thylakoids) ، وقد تكون تلك الثيلاكويدات ناشئة من التحام حبيبات أصغر . وفى حالة اتخاذ الوحدات التمثيلية شكل أقراص تكون تلك الأقراص متفرقة ومتباعدة وغير متجمعة فى حزم محددة كما فى حالة الكثير من الطحالب حقيقية النواة .

ويكون الانقسام الخلوى عادة لافتيلى (Amitotic) (شكل ١٦٠) فى الطحالب الخضراء المزرققة ، وفيه يبدو الجسم المركزى وقد تخلص منقسماً إلى قسمين متساويين . ويتم انقسام الخلية بنمو غشاء وسطى مستعرض من محيط الخلية تجاه مركزها ، ويصحب ذلك أحياناً بانقباض فى وسط البروتوبلاست وظهور تجويف فى سطحه الخارجى .

ومن العضيات الخاصة بالنباتات حقيقية النواة وغير الموجودة إطلاقاً فى الطحالب الخضراء المزرققة : الميتوكوندريات ، والبلاستيدات الخضراء الفوقجية ،

والشبكة الإندوبلازمية وأجسام جولجي (Golgi Bodies) ، والأغشية المزدوجة بوجه عام ، وذلك لأن الطحالب الخضراء المزرقمة من بدائيات الأنوية . ولذلك فحتى شكل وتركيب الجدار الخلوى فيها أقرب شها إلى البكتريا منه إلى حقيقيات النواة .

وتخزن الطحالب الخضراء المزرقمة الغذاء فى صورة حبيبات دقيقة من الكربوهيدرات متحدة كيميائياً مع بعض البروتينات ، ويسمى الشق الكربوهيدراتى فى تلك الحبيبات باسم نشا الطحالب الخضراء المزرقمة (Cyanophycean Starch) . وفى الطحالب الخضراء المزرقمة - كما فى كل الكائنات الحية التى تقوم بوظيفة البناء الضوئى - توجد أصباغ الكلوروفيل والأصباغ الكاروتينية فى أغشية ، وتتخذ تلك الأغشية فى كثير من الطحالب

(شكل ١٦٠)

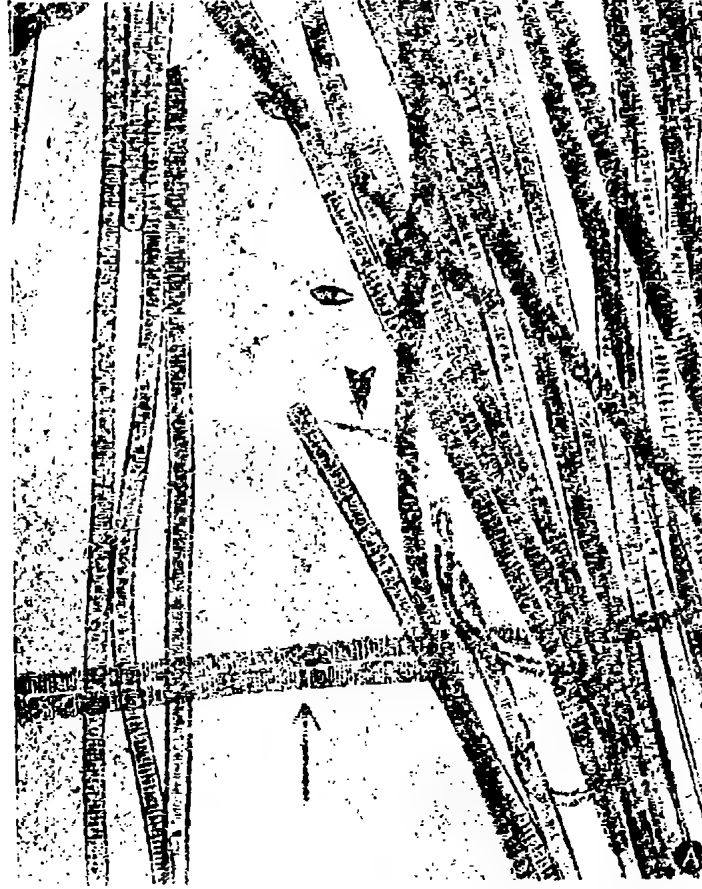


صورة بالمجهر الإلكتروني لخلية مفاييرة

(Heterocyst) من خلايا *Anabaena cylindrica* بقوة تكبير ٢٢,٠٠٠ مرة ويظهر فيها الاختناق عند كلا الطرفين وثلاث طبقات خارج جدار الخلية وثيلاكويدات ملتصقة داخل السيتوبلازم .

الخضراء المزرقمة شكل أكياس مغلطة يطلق عليها اسم « ثيلاكويدات » شبيهة بتلك الموجودة فى البلاستيدات الخضراء بالخلايا حقيقية النواة ، ومع ذلك فهناك اختلاف أساسى ، وهو أن ثيلاكويدات الطحالب الخضراء المزرقمة توجد فرادى ولا تتجمع فى حزم تقابل الجرانات (Grana) الموجودة فى بلاستيدات الخلايا حقيقية النواة ، كما أنها - أى الثيلاكويدات - غير مغلطة بأية أغلفة ، فيما عدا غشاء الخلية البلازمى . وعادة تكون هذه الثيلاكويدات مرتبة حول محيط الخلية فى ترتيب سوارى أو متموج

(شكل ١٦١ أ)



خيوط أحد أنواع «أوسيلاتوريا» تتركب من خلايا طولها أقل من عرضها على عكس الخلايا المستطيلة في البكتريا العصوية الحقيقية . (أ) يشير السهم إلى موضع تجزؤ في الخيط بعده تستطيع الشدفة الواقعة إلى يمين موضع التجزؤ أن تتباعد ثم تنقسم لتكون خيطاً جديداً في بقعة أخرى . وتشير قرة رأس السهم إلى إحدى الديدان الخيطية الموجودة في التربة والتي يتطفل بعضها على النباتات والبعض الآخر على حيوانات . (ب) صورة بالمجهر الإلكتروني لقطاع طولى في أحد الخيوط يوضح إحدى الخلايا وهي في حالة انقسام بالانشطار الثنائي ، وتشاهد الأغشية الثيلاكويدية مرتبة حول محيط الخلية من الداخل ، كما تشاهد حبيبات مخزنة وكذلك منطقة النوية .

وتكون متصلة بجدار الخلية الخارجى في مواضع معينة .

وتحتوى البكتريا الخضر المزرقه - من بين جميع الطرز الكيميائية المختلفة للكلوروفيل - على طراز كلوروفيل - «أ» وحده ، وتفتقر إلى وجود أى من الكلوروفيل البكتيرى أو كلوروفيل «ب» الموجود فى بقية

(شكل ١٦١ ب)



الطحالب وفي النباتات الراقية الخضراء - ومجموعة الأصباغ المميزة لهذا القسم من الطحالب ، وهي التي تتصيد الضوء ، هي مجموعة بروتينات الفيكوبيلين (Phycobiliproteins) ، وعلى الأخص منها مجموعة الاصباغ الزرقاء المعروفة باسم « فيكوسيانينات » والتي تضاف - مع صبغ الكلوروفيل - اللون الأخضر المزرق على هذه الطحالب .

وتوجد البروتينات الفيكوبيلينية في حبيبات دقيقة ملتصقة بالسطح الخارجى لأغشية الثيلاكويدات في الطحالب الخضراء المزرق (شكل ١٦١) وهناك ثلاثة أنواع من البروتينات الفيكوبيلينية موجودة في هذه المجموعة من الطحالب ، وهي الفيكوسيانينات (Phycocyanins) والفيكوإرثرينات (Phycoerythrins) والألوفيكوسيانينات (Allophycocyanins) . وتوجد الفيكوسيانينات والألوفيكوسيانينات في



البروتينات الفيكوبيلينية في خلايا الطحالب الخضراء المزرقة تظهر على شكل حبيبات على سطح أغشية اثيلاكويدات المرتبة في دوائر مركزية. الصورة مأخوذة بالمجهر الإلكتروني لطحلب «سينيكوكوكس ليفيدس» *Synechococcus lividus* الذي يعيش في مياه أحد الينابيع الحارة عند درجة حرارة تتجاوز ٥٦٠ م.

جميع الطحالب الخضراء المزرقة ، وكلتا المجموعتين أصباغ زرقاء ، ولكنهما يختلفان بعض الشيء في أطرافهما الامتصاصية ، وإذا وجدت بالطحالب مقادير كبيرة من الأصباغ الفيكوبيلينية - وهي حمراء بروتينية - فإنها تجعل الخلايا تبدو حمراء أو قرمزية أو بنية بدل أن تبدو خضراء مزرقة وتعمل هذه الأصباغ الإضافية على توسيع مدى أطوال الموجات الضوئية المرئية التي تمتصها الخلايا بقوة في عملية البناء الضوئي بأطوال الموجات التي تمتصها بقوة صبغ كلوروفيل «أ» .

وتختلف بعض الطحالب الخضراء المزرقة في بنائها الضوئي عن النباتات الهوائية من حيث قدرتها على تكييف عملية البناء الضوئي عندها للظروف اللاهوائية عندما تضطر للتحويل إلى نمط من أنماط البناء الضوئي لا يتضمن انطلاق أكسجين ، وذلك باستعمالها غاز كبريتيد لايدروجين (يدم كب)

كمصدر إيدروجيني لاختزال ثاني أكسيد الكربون ، على نحو ما يحدث في حالتى البكتريا الخضراء والقرمزية ضوئية التغذية الذاتية ، وقدرة هذه الطحالب الخضراء المزرقة على تحويل بنائها الضوئى إلى النمط اللاهوائى تمكنها من مواصلة نموها عندما تصبح محصورة فى القاع الطينى عديم التهوية بالبركة التى تعيش فيها ، نتيجة للجفاف الذى تتعرض له بعض البرك موسمياً .

وهناك أيضاً من التراكيب الداخلية بالخلايا ما يعرف باسم « حبيبات الاختزان » (Storage granules) يمكن أن تتكون داخل الخلايا الخضراء للطحالب الخضراء المزرقة ، وتشمل مواد الجليكوجين الذى ينتج عن فائض البناء الضوئى والبوليفوسفات (Polyphosphates) التى توجد أيضاً فى البكتريا الحقيقية. وفى الأوساط الغنية بالمواد النتروجينية يمكن أن تنتج الطحالب الخضراء المزرقة حبيبات من عديد بيتيد اختزالى فريد فى نوعه اسمه سيانوفيسين (Cyanophycin) ؛ يتركب من حامضين أمينيين : أرجينين (Arginine) وحامض أسبرتيك (Aspartic Acid) بمقادير متساوية ، ويختلف السيانوفيسين عن عديدات اليتيد العادية ليس فقط فى تركيبها البسيط من الأحماض الأمينية ولكن أيضاً فى كون الريبوسومات لا تتمثلها .

وبداخل الخلايا أيضاً توجد حويصلات غازية (Gas vesicles) ، (شكل ١٦٣) وهى أسطوانات جوفاء مليئة بالهواء ذوات أطراف مخروطية ، وهى موجودة بالخلايا الخضراء لبعض الطحالب الخضراء المزرقة المائية وقليل غيرها من بدائيات النواة ، ويتميز الغشاء الخارجى لهذه الحويصلات بوضوح عن الأغشية البيولوجية المثالية بكون بروتيناتها لا توجد بها ليبيدات . وتحتوى أسطوانات الغازات على جميع أنواع الغازات الذائبة فى سيتوبلازم الخلية أكثر مما تحتوى على غازات خاصة بها . ويعتبر التعويم (Floating) - أى تعويم جسم النبات - الوظيفة الأساسية التى تؤدىها أسطوانات الغازات ، حيث أنها تعمل على

بقاء الخلايا قريبة من سطح الماء باستمرار وبذلك يتحقق لها أفضل الأوضاع لعملية البناء الضوئي ويتوفر لها الحد الأقصى للإضاءة . ويؤثر الطفو أحياناً على تجمع أعداد كبيرة من خلايا الطحالب الخضراء المزرقة عند سطح الماء في البرك والبحيرات مكونة (ريماً) راثجتة في الغالب كريمة .

(شكل ١٦٣)

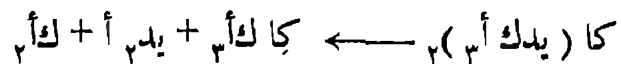
صورة بالمجهر الإلكتروني لجزء من إحدى خلايا طحالب « أنابينا فلوسا كوي » الأخضر المزرقة (٧٣,٥٠٠) توضح التركيب الدقيق للغمد الجيلاتيني والجدار الخلوي المكون من أربع طبقات واللفقات الغازية التي تبدو في قطاعها الطولي عصوية الشكل وفي القطاع العرضي كروية ، كما ترى أيضاً الأغشية الثقيلة « الثيلاكويدات » والأجسام الليبيدية مصطبغة بلون داكن وكثير من الريبوسومات الحبيبية .



والجدار الخلوي متعدد الطبقات (شكل ١٦٣) ولا يمكن تمييزه من جدر الخلايا البكتيرية ، والمكون الرئيسي للجدار هو الببتيدوجليكان ، وتحتاته ٢٨ مليميكرن ، ويغلفه غمد مساوله في الثخانة محتوي لبيفات منغمسة بتفكك في وسط عديم الشكل ملون باللون الأصفر أو البني أو غير ذلك .

ترسيب الكربونات :

هناك توازن كيميائي معقد بين ثاني أكسيد الكربون الذائب في المياه الطبيعية وبين حامض الكربونيك (يدم ك أم) والبيكربونات الذائبة . ويؤدي استنزاف ثاني أكسيد الكربون الذائب إلى تكوين كربونات غير قابلة للذوبان من البيكربونات الذائبة وفقاً للمعادلة :



وعلى هذا الأساس يؤدى استنزاف ثانى أكسيد الكربون فى عملية البناء الضوئى بواسطة الطحالب وغيرها من النباتات المائية إلى ترسيب الكربونات وكون بعض الطحالب الكلسية أكثر نزوعاً فى كثير من غيرها من الكائنات الحية التى تعيش معها فى نفس بيئتها لترسيب الجير فوق أجسامها أو بداخلها يعتبر دليلاً على أن تلك الطحالب الكلسية تلعب دوراً مباشراً فى هذه العملية - عملية ترسيب الكربونات . وهناك الكثير من هذه الطحالب - وبخاصة بعض الطحالب الخضراء المزرقاء والخضر والحمر - يَحتَمَل أن تكون لها القدرة على استخلاص ثانى أكسيد الكربون مباشرة من البيكربونات الذائبة وترسيب كربونات غير قابلة للذوبان فى صورة كربونات كالسيوم أو كربونات ماغنسيوم . وما الطين الغنى بكربونات الكالسيوم (Marl) المتجمع بوفرة فى قاع بعض البحيرات والمواضع الغدقة (Bogs) إلا نتاج أنشطة بعض الطحالب الخضراء والخضر المزرقاء . والمعتقد أن الأنشطة الكيميائية للطحالب من بين العوامل الهامة التى أدت إلى تكوين الكثير من الرواسب الجيرية - وربما معظمها - فى القشرة الأرضية على امتداد العصور الجيولوجية المتعاقبة .

تثبيت النروجين :

من المعتقد أن حوالى ثلث العدد الكلى لأنواع الطحالب الخضراء المزرقاء لها القدرة على تثبيت النروجين . وفى معظم الأنواع المثبتة للنروجين يتم التثبيت داخل خلايا خاصة يطلق عليها اسم « الحويصلات المغايرة » (Heterocysts) (شكل ١٥٧) . وهى خلايا أكبر حجماً من الخلايا المجاورة لها فى الطرز الخلوية ، غليظة الجدر ، كثيفة السيتوبلازم ، أغشيتها الداخلية غير مرتبة فى صفوف متوازية . ولا توجد بها أصباغ فيكوبيلينية ، ولذلك تبدو رائقة صافية تحت المجهر الضوئى ، ومن المحتمل أن تكون تلك الحويصلات قد فقدت جهازها التمثيلى الضوئى ولم يعد ينطلق منها الأكسجين وتصل الحويصلات المغايرة بالخلايا المجاورة لها فى نفس المحيط روابط

بلازمية (Plasmodesmata) وربما كانت وظيفة الجدار الغليظ هي المعاونة على توفير الحالة اللا هوائية للسيتوبلازم ، وهي حالة ضرورية لنشاط إنزيم النيتروجينيز (Nitrogenase) . وتشبه الطريقة الأيضية لتثبيت النروجين هنا طريقة تثبيته في البكتريا .

وفي الأقاليم المدارية (Tropics) تزرع الطحالب الخضراء المزرقة مثل النوستوك (Nostoc) والأنابينا (Anabaena) قصداً في حقول الأرز لزيادة خصوبة التربة . وفي بعض التجارب ثبت أن طحلب أنابينا سملندريكيا (*Anabaena cylindrica*) يمكن أن يثبت ما بين ٣ - ٤٠٠ كيلوجرام نيتروجين لكل هكتار في السنة . وهذا النروجين العضوي ينطلق ليستفيد منه نبات الأرز عندما تختلط الطحالب بالتربة وتتحلل . وقد وجد أن محصول الأرز يزداد زيادة كبيرة عندما تزرع الطحالب الخضراء المزرقة في حقوله كصورة من صور المخصبات .

وهناك بعض الطرز الخيطية ووحيدة الخلية من الطحالب الخضراء المزرقة مثل طحلب جليوكابسا (*Gleocapsa*) تستطيع تثبيت النروجين حتى ولو لم تكن لها حويصلات مغايرة ، وتقتصر القدرة على تثبيت النروجين الحر على بدائيات النواة من البكتريا والطحالب الخضراء المزرقة .

التكاثر :

التكاثر الجنسي لا يحدث في الطحالب الخضراء المزرقة . وتشمل طرق التكاثر في هذا القسم من النباتات عملية الانقسام الخلوي التي تتم بنفس الطريقة التي تحدث بها في البكتريا ، حيث يزدوج شريط « د ن أ » الطويل الدائري وينفصل إلى شريطين دائريين متساويين ، ثم ينقسم البلازم النووي (Nucleoplasm) والسيتوبلازم إلى قسمين دون أن تتكون كروموسومات أو جهاز مغزلي أو صفيحة خلوية (Cell plate) ، وتكبر المستعمرات عن طريق الانقسام الخلوي ، كما تستطيل الخيوط بالانقسام الخلوي أيضاً .

ومن الممكن أن تتكاثر الطرز الخيطية بالتجزؤ (Fragmentation) غالباً عند المواضع الضعيفة ، حيث تكون إحدى الخلايا قد هلكت وذوت أو أحياناً بجوار الحويصلات المغايرة ، وتسمى أجزاء الخيط التي تنفصل ، والتي يقع كل منها بين حويصلتين مغايرتين متتاليتين ، باسم هورموجونات (Hormogonia) والواحدة هورموجونة (Hormogonium) وتستطيع كل هورموجونة إنتاج خيط جديد بالانقسام الخلوي المتتالي عند قمتها .

وتستطيع بعض الأنواع الخيطية تكوين طراز من الجراثيم تعرف بالجراثيم غير المتحركة (Akinetes) ، وهي خلايا خضرية متضخمة غليظة الجدر تخزن بداخلها قدراً وفيراً من الغذاء المدخر ومن الحامض النووي « د ن أ » . هذه الجراثيم تستطيع الإنبات داخل جدارها الغليظ بعد فترة سكون ثم يتحطم الجدار ويتحرر من داخله خيط قصير من الخلايا . وتستطيع الحويصلات المغايرة أحياناً أن تؤدي نفس الوظيفة ولكن وظيفتها الأهم هي تثبيت النتروجين ، والجراثيم غير المتحركة تمثل معبراً يعبر عليه الكائن الحي فترات العوامل غير الملائمة حتى إذا ما تحسنت الظروف نبتت الجراثيم واستأنف الطحلب نموه النشط من جديد . وهناك نوع آخر من الجراثيم هو الجراثيم الداخلية (Endospores) ، وهي تتكون نتيجة تكرار انقسام البروتوبلاست داخل جدار الخلية التي تتكون فيها . وهذا النوع من الجراثيم هو أيضاً عديم الحركة . وبوجه عام لا توجد أية تراكيب تكاثرية متحركة في جميع الطحالب الخضر المزرقة .

وفي بعض طرز الطحالب الخضر المزرقة يحدث انفصال أجزاء الخيط في نقاط معينة تتجاوز فيها خليتان خضريتان ، ويكون الفاصل بينهما قرص مزدوج التقعر من مادة جيلاتينية .

التصنيف والأجناس المميزة :

تندرج الطحالب الخضر المزرقة تحت عدد محدود من الرتب (Orders) ويقوم التصنيف على أساس الشكل والتركيب وطرق التكاثر . وقد ورد

ذكر أكثر من ١٥٠٠ نوع من هذه الطحالب أثبتت الدراسات المتأنية المستفيضة التي أجراها أخصائي الطحالب الأمريكي فرانسس درويت (Francis Drouet) أن الكثير منها إنما هي طرز بيئية لأنواع أخرى تشكلت استجابة لظروف خارجية مختلفة . ولذلك فالمعتقد أن العدد الفعلي لأنواع هذه الطحلب أقل بكثير من الرقم السابق ، وربما كان أقل من مائة نوع .

وأهم الأنواع انتشاراً هي الآتية :

١ - جليوكابسا (Gleocapsa)

هذا النوع (شكل ١٥٩) ينمو عادة فوق الصخور الرطبة ، وخلاياه كروية أو عدسية الشكل ، وتتجمع في مستعمرات عديمة الشكل بكل مستعمرة منها أقل من ٥٠ خلية . ويتلون الغمد المغلف للمستعمرة باللون الأحمر أو الأزرق أو البنفسجي أو الأصفر أو البني وذلك بواسطة أصباغ يطلق عليها اسم جليوكابسين (Gleocapsin) . وبالإضافة إلى الغمد العام المغلف للمستعمرة كلها تحتفظ كل خلية بغمدها الخاص حزلها . ويحدث التكاثر بالانقسام الخلوي وتجزؤ المستعمرة .

(شكل ١٦٤)



خيوط أوسيلاتوريا (Oscillatoria)

٢ - أوسيلاتوريا (Oscillatoria)

هذا الطحلب (شكل ١٦٤) من أوسع الطحالب الخضراء المزرقة انتشاراً، حيث يوجد في عدد كبير من بيئات المياه العذبة والبيئات الأرضية كما يوجد أيضاً في الينابيع الحارة . وهو يكون خيوطاً محددة بوضوح ، غير متفرعة ، أسطوانية ، كل خيط منها يمثل صفّاً واحداً من الخلايا ،

والخيوط إما أن توجد منفردة أو تتشابه دون انتظام في طبقات بغير حدود والغمدة الجيلاتينية - إن وجد - يكون رقيقة إلى أبعد حد . ويحدث التكاثر بالتجزؤ في مواضع أقراص الانفصال المقعرة . وتمايل خيوط أو سيلاتوريا وغيرها من الطحالب الخضراء المزرقاء التي تربطها بها أواصر القربي من ناحية إلى أخرى ببطء شديد ، وأحياناً تتحرك أيضاً من مكان إلى مكان ولكن ببطء أشد .

٣ - نوستوك (Nostoc)

يوجد هذا الطحلب (شكل ١٥٧) على سطح التربة العارية وفي المياه العذبة ، إما طافية على السطح أو ملتصقة بنباتات مغمورة ، وتتجمع خلايا النوستوك في خيوط (تريكومات) شبيهة بخيوط سائر الطرز الخيطية من الطحالب الخضراء المزرقاء فيما عدا كونها أكثر منها التواء والتفافاً . ولكل خيط من الخيوط غلافة المستقل الخاص به ، وتتجمع خيوط كثيرة معاً لتكون مستعمرة لها غلاف عام . والمستعمرات الناضجة تامة التكوين يمكن رؤيتها بالعين المجردة بسهولة ، وتكون عادة عديمة سنيتمرات في سمكها . وتنتشر في الخيوط الحويصلات المغايرة (Heterocysts) . وعندما تنضج المستعمرة تتحول فيها خلايا كثيرة إلى جراثيم غير متحركة (Akinetes) .

الأهمية الاقتصادية :

من المعلوم أن السلسلة الغذائية تبدأ من النباتات . وجميع طوائف الطحالب تمثل مصادر غذاء للأسماك ، بيد أن طائفة الطحالب الخضراء المزرقاء بالذات أقل أهمية في هذه الناحية من بقية الطحالب ، وعلى الأخص الدياتومات والطحالب الخضراء . وقد شرحنا من قبل أهمية الطحالب الخضراء المزرقاء في عمليتي تثبيت النروجين وترسيب الكربونات .

ولو تركت الطحالب لتنمو نمواً طبيعياً دون عائق في خزانات المياه ، العذبة فإنها تتكاثر إلى الحد الذي تفسد فيه مذاق الماء ، وثمة أنواع من

الطحالب الخضر المزركة تقوم بدور متميز في إفساد طعم الماء . ولما كانت غالبية الطحالب أكثر قابلية للتسمم بأهلاح النحاس من الإنسان ومن معظم الكائنات الأخرى فإن كميات ضئيلة من كبريتات النحاس تعالج بها مصادر المياه غالباً من أجل تنقيتها .

ثانياً : الفيروسات

VIRUSES

مقدمة :

قبل استكشاف البكتيريا بوقت طويل كان اللفظ اللاتيني « فيروس » - ومعناه « سم » - يستعمل للدلالة على سموم الأمراض المعدية ، وبعد إماطة اللثام عن البكتيريا المسببة للأمراض استعملت كلمة « فيروسات » للدلالة على السموم الناتجة من تلك الأمراض ، حتى إذا ما تقدم علم البكتيريا وتوطدت أركانه وجد أن هناك بعض أنواع من المرشحات تصل مسامها إلى درجة من الصغر بحيث تحول دون نفاذ ، البكتيريا منها ، بمعنى أن الراشح الناتج يكون خالياً من أية بكتيرة وليس لديه القدرة على إحداث المرض ، وإذا أحدث المرض كان ذلك دليلاً على عدم اكتمال الترشيح وفعاليته .

وقرب نهاية القرن التاسع عشر قام العالم الروسى إيفانوفسكى بإعتصار نبات تبغ مريض متقزم ، واختبر قدرة المحلول المعتصر بعد ترشيحه على إحداث المرض فى نبات تبغ سليم ، وكان المرض هو المعروف باسم تبرقش الدخان (Tobacco mosaic) ، (شكل ١٦٥) وقد حقن إيفانوفسكى النبات السليم والخالى تماماً من الأمراض البكتيرية بكمية ضئيلة من عصير النبات المريض فلاحظ أن النبات المحقون سرعان ماظهرت عليه أعراض مرضية مماثلة لتلك الموجودة فى النبات الذى أخذ منه العصير ، وكانت هذه النتيجة كشفاً بيواوجياً بالغ الأهمية ، مضمونه إمكان انتقال مرض من نبات إلى آخر عن طريق عصير مرشح خال تماماً من أية أجسام حية يمكن رؤيتها بالمجهر الضوئى ، ومعنى ذلك أن العصير لا بد أن كان محتويًا على شئ ما هو

(شكل ١٦٦)



و.م. ستانلى (W.M Stanley)
١٩٠٤ - ١٩٧١ عالم الفيروسات
الأمريكي الذي كان أول من حصل
على بلورات من فيروس تبرقش
الدخان .

(شكل ١٦٥)



ورقة منفردة من أوراق التبغ
المصابة بمرض التبرقش الفيروسي

الذى أحدث المرض فى النبات السليم ، هذا الشئ هو الذى أطلق عليه اسم
« فيروس » (Virus) .

وبعد ست سنوات من توصل إيفانوفسكى إلى اكتشافه المثير لمرض
تبرقش الدخان أى فى عام ١٨٩٨ توصل باحثان آخران ألمانيان ، هما لوفلر
(Loefler) وفروش (Frosch) إلى إثبات أن مرض الحافر والفم
(Hoof-and-mouth disease) الذى يصيب الماشية سببه هو الآخر
عامل مشابه لعامل تبرقش الدخان ينقل من خلال المرشحات البكتيرية .
وتوالى منذ ذلك الحين الاستكشافات التى أزاحت الستار عن كثير من
الأمراض الفيروسية التى تصيب الإنسان والحيوان والنبات .

وفى بداية استكشاف الفيروسات كان يطلق عليها اسم « الفيروسات
القابلة للترشيح » (Filtrable Viruses) ، ثم استغنى تدريجياً عن عبارة

« القابلة للترشيح » وأصبحت تسمى « الفيروسات » . وتبين أن بعضها يمكن أن توجد في العائل دون أن تسبب له مرضاً .

ويصنف البعض الفيروسات على اعتبارها طرازاً ثالثاً من طرز الحياة قائماً بذاته مستقلاً عن بدائيات النواة وحقيقيات النواة ، ومختلفاً عن كلا القسمين في كونه عديم الخلايا . وللفيروس طوران في دورة الحياة ليست وحدة الحياة في أى منهما هي الخلية . وإنما الفيروسات هي حبيبات أو أجسام دقيقة تقل أطوالها عن ٠,٢ مليميكرن ، ولذلك لا ترى بالمجهر الضوئى ، وجميعها — حسب المعلومات المتوفرة حتى الآن — لا تستطيع التكاثر خارج عائلها .

وفي عام ١٩٣٥ نشر الباحث الأمريكى ستانلى (Stanley) (شكل ١٦٦) بحثاً بعنوان « تحضير بروتين متبلور يشبه في خصائصه فيروس تبرقش الدخان » . وبعد التحسينات الكثيرة اتى أدخلت على المجهر الإلكتروني في الأربعينات من هذا القرن أوضحت الدراسة المجهرية أن بلورات الفيروسات يتكون كل منها في الواقع من وحدات كثيرة جزئية معقدة يطلق عليها اسم « فيروسونات » (Virions) . وقد أصبح معلوماً الآن أن الفيروس هو وحدة التركيب الأساسية لأى فيروس ، وأنه هو الصورة التى ينتقل عليها الفيروس من عائل إلى آخر أو من خلية إلى أخرى . وخارج العائل يكون الفيروس حاملاً (Inert) أى غير نشيط . ويتكون الفيروس من أحد الحامضين النووين (د ن أ) أو (ر ن أ) ، يحيط به غلاف من البروتين . ويوجد بكل فيروسون من المادة الوراثية ما يغذى ما بين عشرة وعدة مئات من الجينات . وقد يكون حامض « د ن أ » خيطاً مفرداً أو مزدوجاً ، دائرياً أو طولياً ، كذلك حامض « ر ن أ » قد يكون هو الآخر خيطاً مفرداً أو مزدوجاً . وفي داخل خلية العائل يتكون الفيروس من مجرد خيوط متكررة من أحد الحامضين النووين « د ن أ » أو « ر ن أ » ولا شىء سواه ، وتوفر خلية العائل كل ما يلزم من مواد أخرى لإنتاج فيروسونات مرة أخرى وإكمال الدورة .

ومن الواضح أن الفيروس عند ما يدهم العائل يصبح جزءاً من مكونات خلاياه . ذلك أنه لا يملك أجهزة لإطلاق الطاقة ولأجهزة تخليق إنزيمية . وتشبه المواد الداخلة في تكاثر الفيروسات - وعلى الأخص أحماضها النووية - نظائرها في العائل ، وتستحث خلايا العائل على إنتاج مواد الفيروس أكثر مما تستحثه على إنتاج مواد العائل المصاب . ولهذا السبب لا تستطيع الفيروسات التكاثر خارج الخلايا الحية للعائل . وقد أدى هذا التلازم الوثيق بين الفيروسات والخلايا الحية إلى تعرفنا على الفيروسات عن طريق تأثيراتها المباشرة على الخلايا البكتيرية أو الحيوانية أو النباتية . وفي الواقع قد يكون من الأصوب مقارنة الفيروسات ببعض مكونات الخلايا بدلا من مقارنتها بخلايا كاملة ، فهي على هذا الاعتبار - اعتبار كونها مكونات خلايا وليست خلايا كاملة - يمكن أن تقدم لنا تفسيراً منطقياً لقدرتها على إحداث الأمراض والمكونات المماثلة في الفيروس وخلايا العائل هي الأحماض النووية التي تحمل المعلومات الوراثية التي تحدد ما هي الوظائف الخلوية . ولما كانت خلية العائل غير قادرة على تمييز أحماضها النووية من أحماض الفيروس فهي تستغل تلك الرسائل والإشارات الوراثية الجديدة لتخليق مكونات جديدة خاصة بالفيروس من دون العائل ، وتطيع تلك الإشارات لصالح الفيروس طاعة عمياء . وتكون من بين المكونات الفيروسية الجديدة بعض الإنزيمات وهذه تعمل بالتعاون مع إنزيمات العائل على تخليق فيروس جديد ، مستغلة في ذلك مصادر الطاقة المتاحة لخلايا العائل .

وفي الخمسينات والستينات من هذا القرن نشطت الدراسات التجريبية الحيوية على الفيروسات بقيادة أخصائي الفيروسات الأمريكي سلفادور لوريا . وتمخضت تلك الدراسات عن التحقق من أن الفيروسات تشبه سائر الكائنات الحية في صفاتها البيوكيميائية الأساسية ، وعلى الأخص في احتوائها على أحماض نووية تسيطر على تكوين بروتينات معينة . ومن الحق إن الفيروسات قد استعملت ككائنات تجارب رئيسية في كثير من الدراسات

التي أجريت في مجال البيولوجيا الجزيئية ، وفضلت على الكائنات الحية الأكثر تعقيدا بسبب عدم تكوينها نواتج ثانوية أو قيامها بتنظيم ذاتي يعقد نتائج التجارب .

وخلاصة القول إن الفيروسات كائنات (أو عوامل) ممرضة دقيقة لا ترى غالبيتها إلا بالمجهر الإلكتروني ، تتخذ شكل حبيبات عصوية أو كروية ، أو أشكالا أخرى أكثر تعقيدا ، ولكنها لا يمكن تصنيفها على أساس الشكل وحده كما يصنف الكثير من الكائنات الحية . وفي الجدول التالي أمثلة لبعض الفيروسات النباتية وأشكالها وأحجامها والكائنات الناقلة لها .

ماهية الفيروسات :

كان المعتقد قبل البحوث التي أجراها ستانلي على مرض تبرقش الدخان عام ١٩٣٥ أن مسبب ذلك المرض إصابة بكتيرية ، وذلك لشدة مشابهة أعراضه للأعراض المرضية التي يسببها الكثير من أنواع البكتريا المتطفلة ، ولكن بعد أن قام ستانلي بتحضير عينة من نبات الدخان المصاب ، وقام بترشيحها في مرشحات بكتيرية للتخلص مما عساه يكون موجودا بها من بكتريا ، ثم حقن العصير المرشح في نبات دخان سليم ، ووجد أن أعراض المرض قد ظهرت على النبات المحقون - عندما توصل إلى تلك النتيجة أيقن أن مسبب المرض شيء آخر غير البكتريا أطلق عليه اسم « فيروس » (Virus) . وقد نجح ستانلي بعد ذلك في فصل وتنقية بلورات بروتينية من عصير النبات المصاب بالفيروس ، ووجد أن قدرة تلك البلورات على إحداث المرض تفوق مائة مرة قدرة العصير نفسه . واستمر في إعادة بلورة هذه البلورات البروتينية عدة مرات ، وثبت أن تلك البلورات تحتفظ بعد إعادة بلورتها بكافة خصائصها الطبيعية والكيميائية والبيولوجية ، مما لا يدع مجالا للشك في أن هذه البلورات هي بعينها مسببات الأمراض الفيروسية وقام الأستاذ بست (Best) بعد ذلك في عام ١٩٣٩ بتأييد نتائج ستانلي .

جدول (٤)

بعض الفيروسات النباتية وأشكالها وأحجامها والكائنات الناقلة لها

الناقل	الحجم (بالمليميكرون)	اسم الفيروس
١ - فيروسات كروية :		
نخر الدخان	٢٠	الفطريات
تبرقش الفول	٣٠	المن
تبرقش القرع	٣٠	الخنفس
تقرم البطاطس الأصفر	١١٠	نطاط الأوراق
٢ - فيروسات عصوية قصيرة		
بقعة الأيدرا نجيما الحلقيّة	١٦×٤٤	غير معروف
تبرقش أوراق التبغ	١٥×٢٨٠	غير معروف
٣ - فيروسات عصوية طويلة		
التبرقش الأصفر في الفول	٧٥٠×١٢	المن
اصفرار البنجر	١٢٥٠×١٠	المن

ويعد اكتشاف المسببات الفيروسية كبلورات نيوكليوبروتينية حدثاً عظيماً في تاريخ البشرية ، إذ تبين فيما بعد أن مسببات الأمراض الفيروسية التي تصيب الإنسان والحيوان هي أيضاً بلورات نيوكليوبروتينية ودرست آلية المناعة ضد الأمراض الفيروسية الإنسانية والحيوانية ووسائل مقاومتها في ضوء معرفة هذه المسببات وأمكن بذلك استنباط الوسائل الفعالة للمقاومة والعلاج .

وتختلف الفيروسات عن البكتريا والحيوانات الأولية من حيث دقة أحجامها ، ومن ثم فهي تستطيع النفاذ من الالمرشحات البكتيرية ، وتختلف أحجامها ما بين ٥ ، ٣٠٠ ملليميكرون (الملليميكرون جزء من ألف من الميكرون أى جزء من مليون من الملليمتر) بينما يتراوح حجم البكتريا ما بين ٥٠٠ ، ٥٠,٠٠٠ ملليميكرون ، أى أن أكبر الفيروسات حجماً لاتكاد

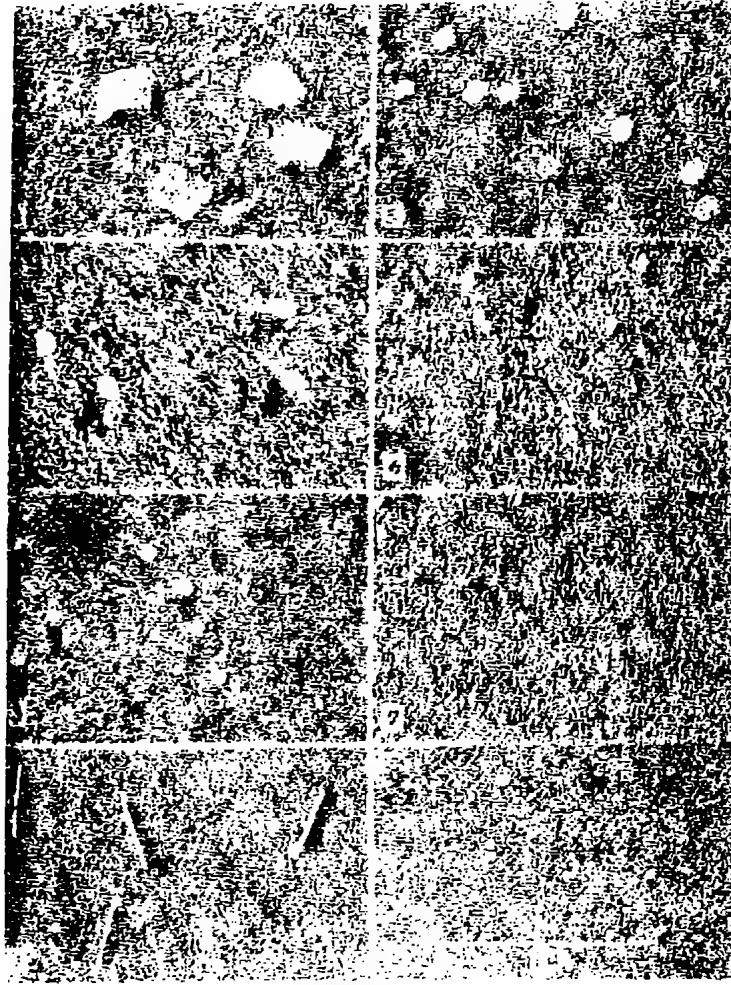
تشغل أكثر من ربع حجم بكثيرة التيفوتيد المعروفة علمياً باسم « باسيلس تيفوزا » (*Bacillus typhosa*) ، أما أصغرها حجماً فقد يتسع لألف منها أو أكثر غلاف فارغ من أغلفة البكثيرة الكروية العنقودية « ستافيلوكوكس » (*Staphylococcus*) .

التركيب :

يتركب الفيرون (*Virion*) من لب من حامض نووى (إما « دنا » أو « رنا ») ولكن لا يجتمع الاثنان معا في لب واحد) يحيط به غمد (*Sheath*) بروتيين يسمى كابسيد (*Capsid*) والآخر بدورة مغلف بغلاف (*Envelope*) في بعض الفيروسات . ويوجد الحامض النووى في اللب إما على شكل خيط منفرد أو مزدوج ، وغالباً ما يكون خيط الـ « دنا » مزدوجاً بينما يكون خيط الـ « رنا » منفرداً . والغلاف الخارجى هو هنا غشاء من طبقة واحدة فهو يشبه في ذلك الغشاء البلازمى في الخلايا حقيقية النواة . وفي معظم الأحيان يكون هذا الغلاف الخارجى للفيرون جزءاً من الغشاء البلازمى لخلية العائل يأخذه معه عند خروجه من الخلية وعلى النقيض من ذلك في فيروس الجدري وبعض الفيروسات الأخرى يكون الغلاف الخارجى جزءاً أصيلاً من الفيرون نفسه لاعلاقة له بالغشاء البلازمى للعائل . ولبعض الفيرونات بروتين واحد إضافى أو أكثر ، أو أحد عديدات الببتيدات أو مواد أخرى ، وتكون جميعها موجودة بداخل الغلاف الخارجى ولكن خارج الكابسيد أو بداخله وليس لأى من هذه المواد من الإنزيمات ما يكفى لإحداث تحول غذائى مستقل ومنفصل عن أيض خلية العائل . أى أن الفيرونات لاتعتمد على خلية العائل فى الحصول على مواد غذائها فحسب بل تعتمد عليها أيضاً فى الحصول على الإنزيمات الأساسية ، التنفسية وغيرها .

والفيرونات (شكل ١٦٧) أصغر من البكتريا ، مع قليل من التداخل فى الحجم بين القسمين ، ذلك أن أصغر طرز البكتريا ، وهى الطرز الكروية التابعة للرايكنتسيات ، تصل أحجامها إلى ٢٠٠ ملليمكرون ، وهى أدنى

(شكل ١٦٧)



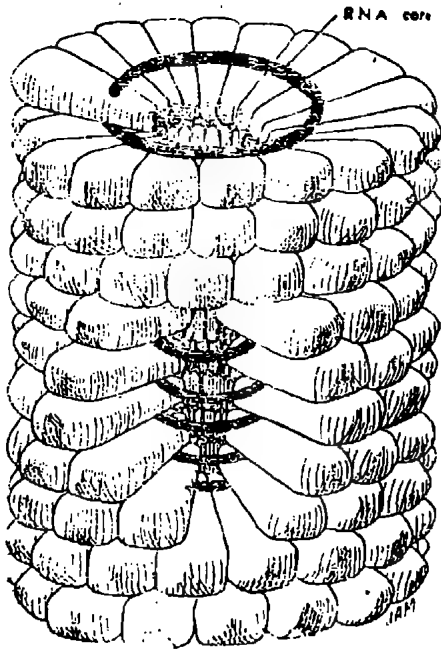
الطرز المختلفة من الفيروسات : (١) الفاكسيات ، (٢) ت - ٢ بكتريوفاجات مذنبية ، (٣) ت - ٣ بكتريوفاجات ، (٤) فيروس تبرقش الدخان ، (٥) فيروس الأنفلونزا ، (٦) فيروس حمة الأرنب ، (٧) فيروس تقزم الطماطم ، (٨) فيروس البوليو (مكبرة بالمجهر الإلكتروني) .

حدود الرؤية باستعمال المجاهر الضوئية التقليدية . بينما يصل حجم أكبر أنواع الفيروسات - مثل فيروس الجدري - إلى حوالي ٣٠٠ مليمكرون ويمكن أن يقال إن فيروسات الجدري هي أكثر الفيروسات تعقيدا من حيث التركيب والجهاز الإنزيمي ، ولكنها فيروسات على أية حال وليست بكتريا . أما فيروس تبرقش الدخان فيصل طوله إلى ٣٠٠ مليمكرون بينما لا يتجاوز عرضه ١٥ مليمكرون ، أي أن طوله - دون عرضه - يقع

في حدود إمكانية الرؤية بالمجاهر الضوئية . وهناك بعض الفيروسات الصغيرة - مثل فيروس مرض الحافر والفم - لا يتجاوز طولها ولا عرضها العشرة مليميكرونات .

ويحتوي الغمد البروتيني المعروف باسم « كابسيد » على نوع واحد أو أكثر من أنواع البروتينات - على حسب نوع الفيروس - مرتبة في طبقة واحدة أو في عدة طبقات متعاقبة . وهناك طرازان عامان من الكابسيدات : طراز طويل يترتب فيه الجزء البروتيني إما عقربياً (Helicoid) وإما أسومترياً (Isometric) تقريباً . والكابسيدات العقربية - ومن أمثلتها كابسيدات فيروس تبرقش الدخان - تكون عادة مفتحة الأطراف جوفاء (شكل ١٦٨) ويلتف فيها لولب الحامض النووي المتضاغط حول المحيط

(شكل ١٦٨)



تمثيل تخطيطي للتركيب الفراغي لفيروس تبرقش الدخان مبيناً حزمة وسطية من حمض الريبونوكليك يحيط بها البروتين .

الداخلي للكابسيدة وقد دلت البحوث التي أجراها كونرات ووليامز عام ١٩٥٥ على أن البروتين وحامض الريبونوكليك يوجدان معاً في فيروس تبرقش الدخان دون اتحاد كيميائي بينهما ، إذ استطاع الباحثان فصلهما عن بعضهما البعض ثم إعادةهما دون أن ينتج عن ذلك فقدان الفيروس لقدرته التطفلية . أما طراز الكابسيدات الأيسومتريّة ففيها تغلف الكابسيدة اللب المكون من الحامض النووي تغليفاً تاماً ، دون أن تكون مفتحة الأطراف ، وغالباً ما تكون متعددة الأضلاع ، وجميع أوجهها مثلثات متساوية الأضلاع

وهناك فيروسات - مثل فيروسون الجدرى - تتخذ شكل قوالب الطوب ويكون فيها الحامض النووى مغلفاً تغليفاً تاماً . وترتب هذه الفيروسات الأخيرة ضمن مجموعات الطراز الأيسومتري ، كما يضم نفس الطراز أيضاً الفيروسات التى على شكل أبو ذئبيه (Tadpole) وتتطفل على بعض أنواع البكتريا .

التصنيف :

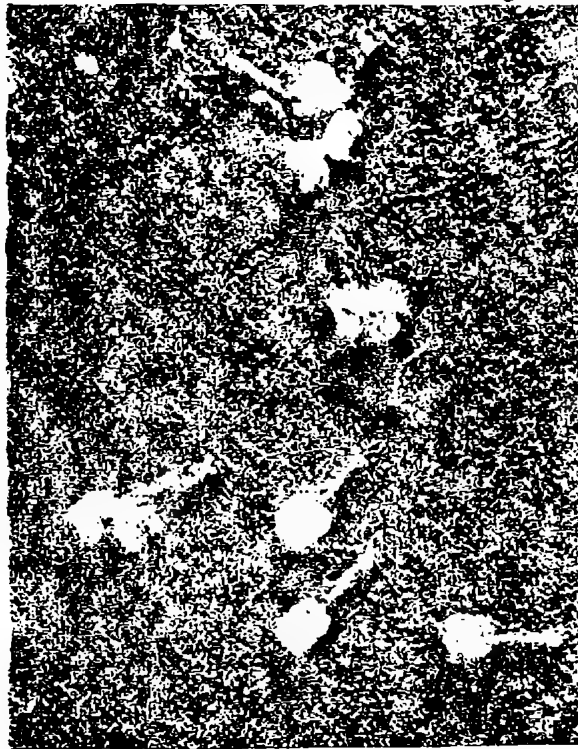
لا يزال العالم حديث عهد بالتعرف على الخصائص الأساسية للفيروسات ، والمعلومات لا تزال قاصرة على نسبة ضئيلة من أنواع الفيروسات التى أميط عنها اللثام حتى الآن ، ولذلك لم يوضع بعد أى تصنيف لها متفق عليه ، وإنما جرت العادة على تسمية كل فيروس باسم المرض الذى يسببه ، أو حتى على وضع رموز اعتبارية لمختلف الفيروسات ، ولم تقابل محاولة تطبيق التسمية الثنائية المتبعة فى تسمية سائر الكائنات الحية بأى تشجيع من قبل الفيروسولوجيين . وقد جرت العادة - على مدى بضعة عقود - على تحديد ثلاث مجموعات عامة من الفيروسات وهى : (١) الفيروسات الحيوانية ، (٢) الفيروسات النباتية ، (٣) الفيروسات البكتيرية ، وهى المعروفة باسم آكلات - أو لاقحات - البكتيريا (Bacteriophages) ، وتختصر أحياناً إلى لاقحات (Phages) . ويجب التنويه هنا بأن بعض الفيروسات النباتية تعيش بنفس الدرجة من النجاح على الحشرات التى تنقل المرض الفيروسي إلى النبات المصاب بها كعيشتها على النبات المصاب نفسه ، ولذلك فهناك ما يبرر اعتبار مثل هذه الفيروسات فى عداد الفيروسات الحيوانية .

وهناك محاولات حديثة لوضع تصنيف أكثر تحديداً للفيروسات ، يعتمد على ثلاث صفات ممثلة بدرجات متفاوتة فى مختلف الفيروسات ، وهذه الصفات هى : (١) اللب البروتينى النووى ، وما إذا كان من مادة « د ن أ » أو من مادة « ر ن أ » ، (٢) الكاسيد وما إذا كان من طراز عقربى (Helicoid) أم من طراز أيسومتري (Isometric) ، (٣) وجود الغلاف (Envelope) الخارجى للفيروس أم عدم وجوده . ولم يتفق بعد على مدى الأهمية التصنيفية

لكل من هذه الصفات الثلاث . وفي هذا الإطار يجب ملاحظة أن جميع الفيروسات النباتية تقريباً لها لب من الحامض النووى « ر ن أ » ، بينما جميع الفيروسات الحيوانية المعروفة حتى الآن لها إما من الحامض النووى « د ن أ » وإما من حامض « ر ن أ » على حسب نوع الفيروس . أما الفيروسات البكتيرية المذنبة (شكلا ١٦٨ ، ١٦٩) فإنها تمثل مجموعة متميزة من الفيروسات الأيسومترية عديمة الغلاف التى يتكون لها من حامض « د ن أ » ، على أن بعض الفاجات يعوزها الذنب المميز للبعض الآخر ، وبعضها ذات لب من حامض « ر ن أ » .

ويثور الجدل حول مجرد إمكان عمل تصنيف طبيعى للفيروسات — من الوجهة النظرية — على أساس علاقات نشأة وراثية تطورية (Phylogenetic Relationships) فإذا صح أن غالبية الفيروسات قد اشتقت أصلاً من البكتريا

(شكل ١٦٩)



فيروس طراز الفاج ت - ؛ تمجيد بالمجهر الإلكتروني

عن طريق التبسيط المتكرر جيلا بعد جيل - كما يعتقد بعض البيولوجيين - فإن وضع نظام تصنيف طبيعي لها لا بد أن يكون ممكنا من الوجهة النظرية ، أما إذا كانت جميعها أو غالبيتها مشتقة من جزيئات منها هي نفسها أو من خلايا عوائلها - كما يعتقد فريق آخر من البيولوجيين - فإن إجراء تصنيف على أساس نشأة وراثية تطورية يبدو غير ممكن .

خواص الفيروسات :

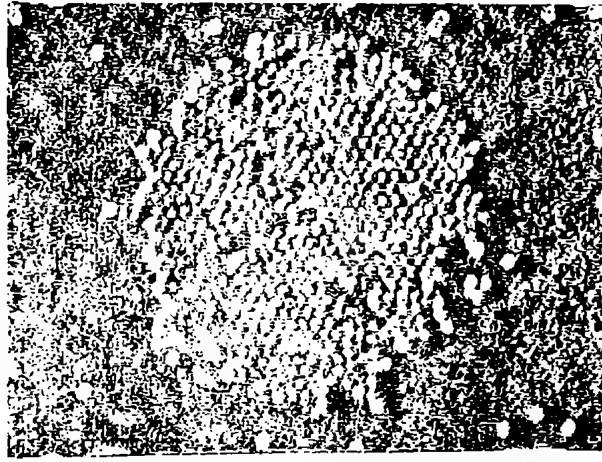
تناول الفيروسولوجيون دراسة البلورات النيوكليوبروتينية المسببة لأمراض النبات بإسهاب من حيث محتواها الفيروسي في كل لتر من عصير النبات المصاب ومن حيث وزنها الجزيئي (جدول ٥) .

والبلورات الفيروسية ليست مكونة فقط من بروتين بل هي مزيج من البروتين وحامض النيوكليك ، وتعد بمثابة طراز من الموجودات الممرضة التي تتوسط في خواصها عالمي الأحياء والجماد (شكل ١٧٠)

جدول ٥

خواص بعض الفيروسات للنباتية

الوزن الجزيئي للفيروس	شكل وحجم الفيروس	جرام فيروس في كل لتر من عصير النبات	فيروس
710×40	عصى 15×600 مليميكرون	٢	تبرقش الدخان (Tobacco mosaic)
710×6	مستدير قطر ٢٠ مليميكرون	٥٠٤	نخر الدخان (Tobacco necrosis)
710×7	مستدير قطر ٢٦ مليميكرون	٥٠٥	التقزم الشجيري للطماطم (Tomato bushy stunt)



صورة بالمجهر الالكترونى لفىروس تقى
مكبر حوالى ٥٠٠٠٠ مرة (عن كليفتون)

وتتمثل الخواص الأحيائية للفيروسات فيما يلى :

١ - قدرتها على النمو والتكاثر فى خلايا العائل أو أنسجته وأعضائه بعد إصابتها بها ، وإحداثها لأعراض المرض بعد زمن محدد ، أى أن لها القدرة على مضاعفة ذاتها .

٢ - اعتمادها اعتماداً كلياً على الخلايا الحية فى نموها وتكاثرها .

٣ - يستجيب الفيروس لتأثير درجة الحرارة ، وهناك مدى طردى خاص بكل فيروس إذا تجاوز أياً من حديه الأعلى أو الأدنى فقد صفاته الطبيعية وقدرته التطفلية .

٤ - القدرة على إنتاج سلالات متطفرة ، بيد أن الطفرة هنا ليست جينية ، - كما هو الحال فيما عداها من أحياء خلوية - بل إلكترونية ، مسببة عن فقد الجزيء الفيروسى لأحد الإلكترونات ، نتيجة لتأثير إشعاعات مؤينة (Ionising Irradiations) أو غيرها من العوامل ، وما يتبع ذلك من إعادة تنظيم الأيونات داخل الجزيء ، مما يسبب تغيراً فى الصفات الكيميائية ، وبالتالي فى القدرة التطفلية وغيرها من القدرات .

٥ - المدى الانتخاى للعوامل التى تتطفل عليها . ذلك أن الفيروسات تختلف فيما بينها فى أنواع العوائل التى تتطفل عليها ، فمن الفيروسات النباتية مالا تستطيع التطفل إلا على عائل نباتى واحد ، مثل فيروس تبرقش الذرة الذى لا يستطيع أن يتطفل إلا على نبات الذرة وحده ، ومنها مالا يستطيع أن يتطفل إلا على نباتات فصيلة واحدة فقط ، ومنها ما هو واسع المدى العائل (Host range) ، مثل فيروس مرض تجعد البنجر الذى يتطفل على حوالى ٣٢٠ نوعاً من النباتات موزعة بين إحدى وأربعين فصيلة .

وهذا المدى الانتخاى للعوائل يتمثل كذلك فى الفيروسات التى تتطفل على الحيوان والإنسان ، فهناك مثلاً من بين هذه الفيروسات مالا تستطيع أن تتطفل إلا على الإنسان وحده دون غيره من الحيوانات ، مثل الفيروسات المسببة لأمراض الإنفلونزا والحصبة وشلل الأطفال ، وهناك منها ما تستطيع الانتقال ما بين الإنسان وبعض الحيوانات ، وبين (جداول ٦) بعض هذه الفيروسات ، من حيث العائل الرئيسى وغيره من عوائل طبيعية ، ومن حيث وسيلة الانتقال وأعراض المرض التى تظهر على العائل الرئيسى .

أما الخواص الجهادية للفيروسات فتتمثل فيما يلى :

١ - قدرتها على التباور فى أنابيب الاختبار ، مثلها فى ذلك مثل الكيمائيات التى لا تنبض بالحياة .

٢ - ليس للفيروسات أى نشاط أيضى (Metabolic activity) يمكن التعرف عليه خارج العوائل المتخصصة التى تتطفل عليها .

توزيع الفيروسات :

تختلف الفيروسات عن البكتيريا والفطريات بكونها إجبارية التطفل ، بمعنى أنها لا تستطيع أن تعيش بمنأى عن عوائلها الحية . ولذلك فهى لا تستطيع النمو والتكاثر فى منابت غذائية صناعية كتلك التى تنمو عليها الفطريات والبكتيريا بل لها طرقها الخاصة فى التوزيع ، وهناك ثلاث طرق لتوزيع الفيروسات من أجل استمرار نموها ومواصلة حياتها :

(جدول ٦)

بعض الفيروسات التي تنتقل بين الإنسان والحيوان

الفيروس	المائل الرئيسي	العوامل الأخرى الطبيعية	وسيلة الانتقال	الأعراض على المائل الرئيسي
الحُمى الصفراء	الإنسان	القرود	العروض	يرقان الكبد واصفرار الكلى
الحُمى البقري	الماشية	الإنسان	الملاسة	بثرات جلدية
الكأب	الكأب	القط ، الذئب ، الثعلب ، الإنسان	الملاسة (العض)	شلل الزور والتهاب الدماغ
حمى البقاع	البقاع	الحمام وغيره من طيور الإنسان	الملاسة	إسهال ، إفرازات أنفية ، إصفرار الكبد ، التهاب رئوي

(أولاً) تزرع الفيروس بحقنه في الحيوانات أو النباتات القابلة للإصابة

به .

(ثانياً) المزارع النسيجية (Tissue cultures) : والمزرعة النسيجية هي مزرعة تحتوي على خلايا من أعضاء أو أنسجة حية تنمو على منبت غذائي يكفل لها مواصلة نموها ودوام حياتها ، حتى إذا لقحت بأحد الفيروسات استطاع الفيروس أن يعيش متطفلاً عليها تطفلاً إجبارياً ، ومن ثم تتكون المزرعة النسيجية من ثلاثة أجزاء :

(أ) السائل المعلق (Suspended fluid) : وهو المنبت الغذائي الذي يحتوي على كل الاحتياجات الغذائية لتنمية الخلايا الحية ومواصلة حياتها ، وهناك عادة محاليل تستغل لتحقيق هذا الهدف ، ومن بينها محلول تيرود (Tyrode's solution) ، ومكوناته كالآتي :

(مكونات محلول تبرود)

ص كل	٨ جرام	ص يد فواء	٠,٠٥ جرام
بوكل	٠,٢ »	ص يد لكاه	جرام واحد
كاكل ٢	٠,٢ »	جلوكوز	جرام واحد
ماكل ٢	٠,١ »	ماء	لتر واحد

(ب) خلايا نسيجية حية : نحضر من أجنة الفئران أو الدجاج ، أو من الجلد أو الكبد أو المبايض أو الكلى .

(ج) الملقح الفيروسي (Virus inoculum) : وهذا الملقح قد يكون دماً ملوثاً بالفيروس أو أجزاء من أنسجة وأعضاء مصابة أو غيرها من ملقحات فيروسية .

وتحضر الخلايا الحية من مفروم الأجنة أو غيرها من أنسجة وأعضاء حية ، ويضاف حوالى ٠,٢ جرام من المفروم إلى ٢٥ مليلترا من محلول تبرود في إناء زجاجى معقم ، ثم يضاف إليها الملقح الفيروسي ، وبذلك يستطيع الفيروس أن يعيش معيشة تطفل اجبارى في هذه المزرعة النسيجية ، إذ يأخذ في النمو والتكاثر على الخلايا الحية .

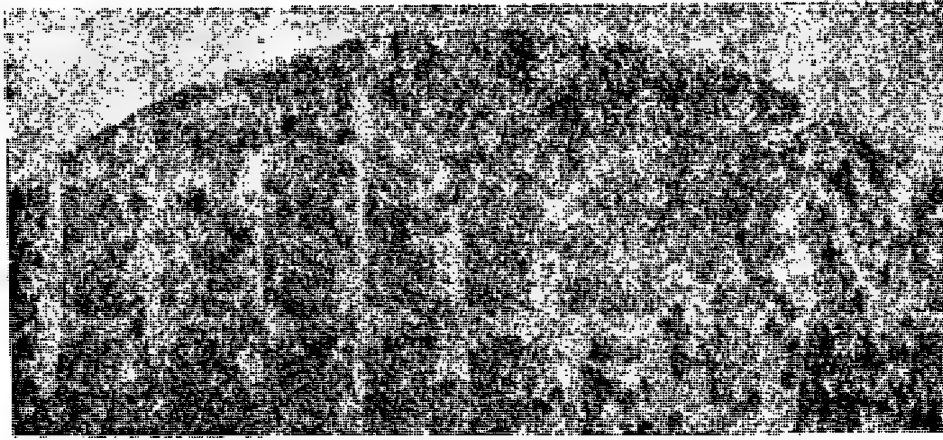
(ثالثاً) تزييع الفيروس على أجنة دجاج حية : وذلك بحقن الجنين — وهو داخل البيضة الملقحة — بمادة تحتوى على الفيروس ، كنسيج من عائل مصاب أو دماء أو لعاب أو عصير ، ويظل الجنين قابلاً للإصابة بالفيروس ما بقى محتبساً داخل البيضة وموضوعاً داخل محضن (Incubator) عند درجة حرارة خاصة ، إلا أنه يفقد قابليته للإصابة بعد الفقس ، وقد يرجع ذلك إلى حدوث تغيرات في العمليات الأيضية للجنين بعد الفقس .

التركيب الكيميائى للفيروسات :

يتركب الفيروس من بروتين وحمض نووى (Nucleic acid) وقليل

من مواد أخرى. ويتكون البروتين نتيجة بلمرة (Polymerization) عدد من الأحماض الأمينية تتشكل على هيئة سلسلة ببتيدية. وتتباين البروتينات فيما بينها من حيث عدد ما بها من أحماض أمينية وأنواعها وطرق ترتيبها ومدى تكرارها أو تنوعها ووضعها في السلسلة الببتيدية، وقد يصل عدد جزيئات الأحماض الأمينية في جزيء واحد من البروتين إلى المئات بل إلى الآلاف في بعض الأحيان (شكل ١٧١).

(شكل ١٧١)



الفبروسات من بروتينات بروتينية، وبين الشكل طريقة انتظام الذرات في أحد جزيئات الفبروس

وتتركب الجزيئات البروتينية من سلاسل ببتيدية طويلة للغاية، ويكون لكل حمض من الأحماض الأمينية المكونة لها الرمز العام الآتي :

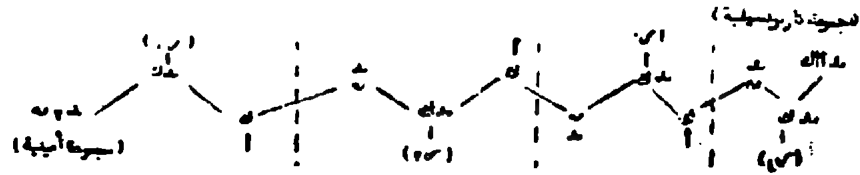
(ر) - ك يد (ن يد) - ك ا ا يد

مجموعة أمينية مجموعة كاربوكسيلية

(قاعدية) (حامضية)

حيث يدل الرمز (ر) على التركيب الكيميائي الخاص بكل حمض أميني من مكونات الأحماض الأمينية في السلسلة الببتيدية، فإذا رمزنا لمجموع الأحماض الأمينية المنبثقة من جوانب السلسلة الببتيدية بالرموز الآتية : (ر ١ ، ر ٢ ، ر ٣ ، ر ٤) ، فإن السلسلة الببتيدية تكون فيها الأحماض الأمينية بارزة ومتبادلة

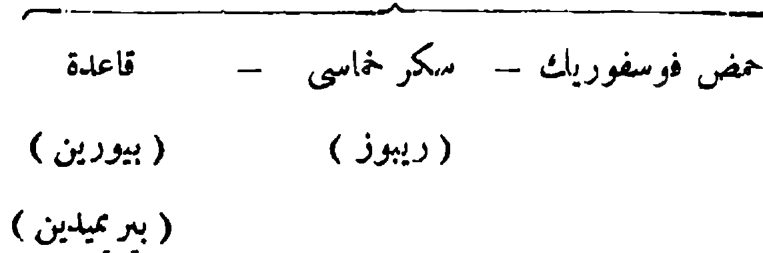
على جانبي السلسلة الببتيدية ، ومن ثم فلا بد أن تنتهي هذه السلسلة في أحد أطرافها بمجموعة أمينية وفي الطرف الآخر بمجموعة كاربوكسيلية ، كما يتضح من الشكل الآتي :



ومما يلاحظ أن مكونات السلسلة الببتيدية من الأحماض الأمينية في البروتينات الفيروسية تشابه إلى حد كبير مثيلاتها في السلسلة الببتيدية لبروتينات فطيرة الخميرة والعضلات الحيوانية ، وقد تماثل فيها كذلك إلى حد كبير النسب المئوية ، كما هو مبين في (جدول ٧) .

أما حمض النيوكلييك (Nucleic acid) فيتكون من عدد من النيوكليوتيدات (Nucleotides) ، وهي أربعة في معظم الفيروسات ، وتعد النيوكليوتيدة بمثابة الوحدة الأساسية في تكوين حمض النيوكلييك ، إذ يتكون الحمض الأخير من اتحاد عدد من النيوكليوتيدات . وتركيب النيوكليوتيدة الواحدة من جزئ من سكر خماسي "Pentose" — هو الريبوز (Ribose) — مرتبطاً من ناحية بجزئ من حمض الفوسفوريك ومن الناحية الأخرى بقاعدة (بيورين "Purine" أو بيريميدين "Pyrimidine") ، كما هو مبين على النحو التالي :

(نيوكليوتيدة)

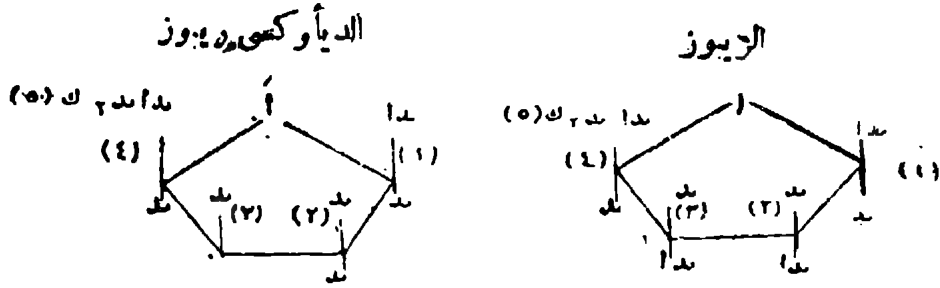


السبب للثوية الأحماض الأمينية في بروتينات فيروسية وفي بروتينات فطرية
الخميرة والمضلات الحيوانية .

المضلل الحيوان	فطرية الخميرة	بكتيريوفاج (ت ٣)	فيروس تبرقش الدخان	الحمض الأميني
٧ر١	٤ر٣	٢ر٨	٨ر٨	أرجينين [Arginine]
٢ر٢	٢ر٨	٠ر٧	—	هستيدين [Histidine]
٨ر١	٦ر٤	٢ر٤	١ر٣	ليسين [Lysine]
٣ر١	٤ر٢	—	—	تيروسين [Tyrosine]
١ر٢	١ر٤	—	١ر٩	تريبتوفان [Tryptophane]
٤ر٥	٤ر١	١ر٤	٧ر٥	فينيل ألانين [phenylalanine]
١ر١	١ر٣	—	—	سستين [Cystin]
٣ر٣	أثر	٠ر٧	—	ميتيونين [Methionine]
٥ر٢	٥	٢	٨ر٤	ثريونين [Threonine]
١٢ر١	١٣ر٢	٣ر٧	٨	ليوسين [Leucine]
٣ر٤	٣ر٤	١ر٨	٥ر٧	إيسوليوسين [Isoleucine]
٣ر٤	٤ر٤	٢ر٤	٧ر٨	فالين [Valine]

والسكر الخماسي الذي تحتويه النيوكليوتيدة إما أن يكون من طراز الريبوز
أو الديأوكسى ريبوز (Deoxyribose) ، ويختلف الريبوز عن الديأوكسى ريبوز
في احتوائه على ذرة إضافية من الأكسجين في الموقع الثانى من الكربون ،
كما يتضح من تركيبهما الكيميائى الآتى (شكل ١٧٢) .

(شكل ١٧٢)



ومن ثم فيوجد طرازان من النيوكليوتيدات بحسب ما إذا كان السكر الخماسي ريبوز أو ديأوكسي ريبوز ، وهما الريبونيوكلوتيدات (Ribonucleotides) والديأوكسي ريبونيوكلوتيدات (Deoxyribonucleotides) ، ومن ثم فيوجد بالتالي طرازان من حمض النيوكلييك هما : حمض الريبونيوكليك (Ribonucleic acid) الذي يكون فيه الريبوز هو السكر الخماسي في جميع ما يحتويه الحمض من نيوكليوتيدات ، ويرمز له عادة بالحرف « ر ن أ » (RNA) ، وحمض الديأوكسي ريبونيوكليك (Deoxyribonucleic acid) الذي يكون فيه الديأوكسي ريبوز هو السكر الخماسي في جميع ما يحتويه من نيوكليوتيدات ، ويرمز له عادة بالحروف « د ن أ » (DNA) .

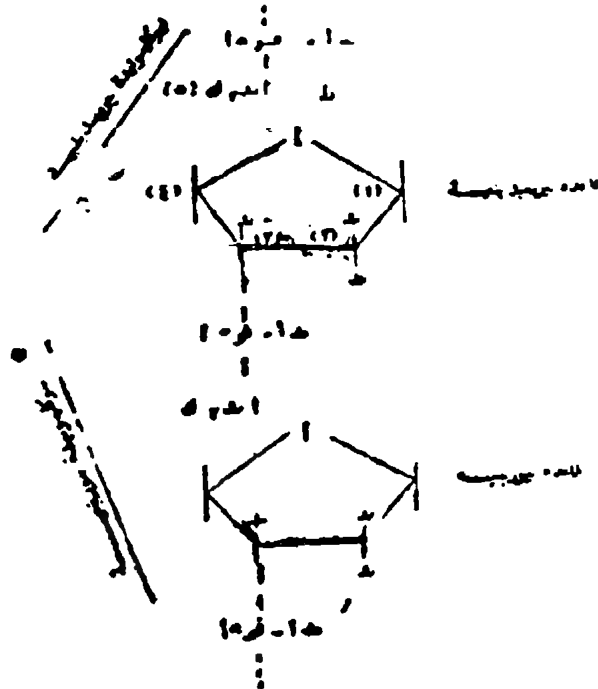
وتتكون أحماض النيوكلييك من عدد متتابع من النيوكليوتيدات ، والقواعد الأربع التي تدخل في تركيب النيوكليوتيدات المكونة للجزء حمض الريبونيوكليك هي :

قواعد بيورينية	{	١ - أدينين (Adenine)
(Purine bases)		٢ - جوانين (Guanine)
قواعد بيريميدينية	{	٣ - سيتوسين (Cytosine)
(Pyrimidine bases)		٤ - يوراسيل (Uracil)

ويختلف حمض الديأوكسى ريبونوكلييك عن حمض الريبونوكلييك -
بالإضافة إلى التباين فى ماهية السكر الخماسى - من حيث إحلال القاعدة
البريميدينية « الثيمين » (Thymine) محل اليوراسيل ، وبين (شكل ١٧٣)
تسلسل وتسابع نيوكليوتيدتين - إحداهما بيورينية (Purine nucleotide)
والأخرى بيريميدينية (Pyrimidine nucleotide) - فى جانب من جزيء
حمض الديأوكسى ريبونوكلييك ، ويتضح من الشكل أن النيوكليوتيدات
ترتبط ببعضها البعض داخل جزيء حمض النيوكلييك عن طريق مجموعات
حمض الفوسفوريك ، وتتصل كل نيوكليوتيدة بالنيوكليوتيدة التى تقع
فوقها بمجموعة فوسفورية ترتبط بالموقع الخامس من الكربون فى السكر
الخماسى الذى تتضمنه النيوكليوتيدة ، وترتبط بالنيوكليوتيدة التى تقع
أسفلها بمجموعة أخرى فوسفورية تتصل بالموقع الثالث من الكربون .

(شكل ١٧٣)

(شكل ١٧٤)



تتابع نيوكليوتيدة بيورينية وأخرى بيريميدينية فى جانب من جزيء حمض الديأوكسى ريبونوكلييك

وتتميز جميع الفيروسات التي تصيب النباتات بأن حمض النيوكلييك فيها من طراز الريبونوكلييك كما في فيروس تبرقش الدخان ، أما الفيروسات الممرضة للإنسان والحيوان فقد يكون هذا الحمض في بعضها من طراز الريبونوكلييك كما هو الحال في الفيروسات التي تصيب النباتات وفيروس شلل المخ الذي يصيب الحصان ، أو يكون في البعض الآخر من طراز الديأوكسي ريبونوكلييك كما في فيروس الجدري البقري ، وكذلك في جميع البكتريوفاجات ، أو يكون في قلة منها خليطاً من الطرازين الحامضين كما في فيروسى الإنفلونزا ومرض نيوكاسل الدجاج . ويبين (جدول ٨) النسب المئوية لكل من الحامضين في بعض الفيروسات ، وتتوقف هذه النسب إلى حد كبير على طريقة استخلاص الفيروس من العائل المتطفل عليه وعلى طريقة التحليل وعلى درجة نقاوة الفيروس بعد الاستخلاص .

ومما لا ريب فيه أن تركيب حمض النيوكلييك عرضة للتغير إلى عدد غير محدود من التشكيلات النوكليوتيدية ، تبعاً لما قد يعثره من إحدى التغيرات التالية (١ - ٤) :

- ١ - تغير زوج أو أكثر من القواعد . ٣ - تكرار زوج من القواعد .
- ٢ - تغير في تنابع القواعد . ٤ - نقصان زوج من القواعد .

ولما كان من المعروف أن الأحماض النووية تدخل في تكوين بعض المحتويات الهامة في الخلية كالصبغيات والبلاستيدات والميكروسومات وغيرها ، وأنها المركبات الكيميائية التي انفردت دون غيرها من مركبات بالقدرة على التأثير الدائى ، وأنها هي الحاملة للعوامل الوراثية ، فالاختلاف في تركيب هذه الأحماض النووية في مختلف الفيروسات قد يكون هو المسئول عما تبديه هذه الفيروسات من تباين فيما بينها من حيث الصفات الرئيسية ومن حيث القدرات والتخصصات التطيفية .

(جدول ٨)

النسب المئوية لكل من حامضى الريبونوكليك (ر ن أ) والديأوكسى ريبونوكليك (د ن أ) فى بعض الفيروسات العالية النقاوة .

طراز الفيروس	فيروس	النسبة المئوية	
		(ر ن أ)	(د ن أ)
فيروسات نباتية	نخر أوراق الدخان	١٨	—
	تبرقش البرسيم الحجازى	١٥	—
	تبرقش الدخان	٦	—
فيروسات حيوانية	شلل المخ للحصان	٤	—
	الجدري البقرى	—	٦
	الأنفلونزا (PRRS)	٤,٥	٠,٣
بكتيريوفيجات	بكتيريوفاج (ت ٣)	—	٥٠

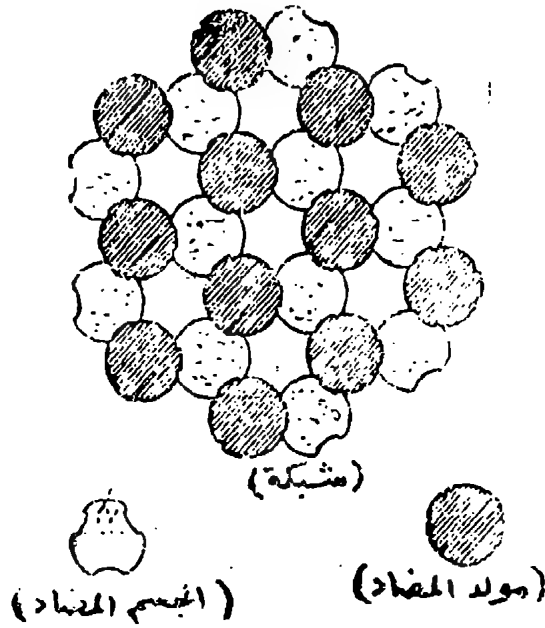
آلية المناعة ضد الفيروسات

لما كانت الحبيبات الفيروسية تحتوى على كميات ضخمة من البروتينات ، ولما كانت الأخيرة لها خاصية توليد المضاد (Antigenicity) فقد أصبح لازماً أن يكون للفيروسات هذه الخاصية بالذات . ويعرف مولد المضاد (Antigen) بأنه المادة التى إذا حقنت فى جسم إنسان أو حيوان استحثت مصبل الدم على تكوين أجسام مضادة (Antibodies) له ، تظهر نتيجة تحور بعض بروتينات مصبل الدم - وتعرف باسم الجاما جلوبيولينات (γ-globulins) التى تتشكل فى أجزاء خاصة منها تركيبياً وكهربياً ليتمكنها التلاحم والتكامل مع أجزاء مقابلة لها على الفيروس أو مولد المضاد ، وتسرى هذه الأجسام المضادة فى تيار مصبل الدم لتصل إلى كافة أجزاء الجسد وتستطيع أن تتحد بوجه خاص مع مولدات المضاد التى تتلاحم وتتكامل معها بالذات تركيبياً وكهربياً ،

ويتضمن التفاعل بين مولد المضاد (الفيروس) والجسم المضاد تكوين شبكة (شكل ١٧٤) .

وتؤثر الأجسام المضادة إذا اختلطت بالفيروسات (كمولدات مضادة) ، في الأجساد الحية أو في أنابيب الاختبار ، بطريقة أو بأخرى من الطرق الآتية :

(شكل ١٧٤)



طريقة تكوين شبكة نتيجة الاتحاد بين جزيئات مولد المضاد والأجسام المضادة .
ورى في هذا الرسم التخطيطي مواضع اتحاد مولد المضاد كجزيئات ومواضع اتحاد الجسم المضاد كجزيئات .

١ - التلازن (Agglutination) : وهو تجميع الحبيبات الفيروسية في كتل متلازنة وتشابكها واتحادها مع الأجسام المضادة .

٢ - التعادل (Neutralization) : وهو امتزاز (Adsorption) الأجسام المضادة على الفيروسات ، مما ينتج عنه إيقاف القدرة الطفيلية لهذه الفيروسات .

٣ - الترسيب (Precipitation) : وهو ترسيب بعض مولدات المضاد

الذائبة .

٤ - الإذابة (Lysis) : وهى إذابة بعض مولدات المضاد التى تكون قابلة لذلك .

وتلازن الفيروس مع - أو امتزازه على - الجسم المضاد لا يتلف الفيروس أو بسبب له الهلاك ، بل يعمل على إيقاف عمله ونشاطه التطفلى ويحول دون إحداثه للأمراض ، إذ يمكن بعد ذلك تخليص الفيروس والحصول عليه ناشطاً ومحتفظاً بقدرته التطفلية بإجراء بعض المعاملات .

وتتوقف عملية تمنيع (Immunization) الأجساد - أو إكسابها مناعة ضد الفيروسات - على العمل على استحثاثها بطريقة ما لتكوين أجسام مضادة لكل فيروس بالذات ، حتى إذا تطاول هذا الفيروس لإحداث المرض أخذت الأجسام المضادة في الاتحاد معه أو امتزازه فتحول بذلك دون إحداثه للمرض .

ويرجع الفضل الأول في إكتشاف ظاهرة تمنيع الأجساد ضد الإصابات الفيروسية إلى العالم الانجليزى « إدوارد جينر » عام ١٧٩٦ ، إذ لاحظ أثناء اشتغاله كطبيب في الأرياف أن الذين يقومون بحلب الأبقار يصابون بحالات معتدلة من الجدري البقرى (Cowpox) ، ولا يلبثون إلا أمداً قصيراً حتى يشفوا منها ، ولاحظ أن هؤلاء الأشخاص بالذات لا يصابون بمرض الجدري الإنسانى (Smallpox) الخطير عند انتشاره كوباء ، ومن ثم قام « جينر » بإجراء التجربة الآتية لإيجاد ماهية العلاقة بين الإصابة بالجدري البقرى والجدري الإنسانى فى الإنسان . . . أخذ « جينر » المادة المصلية أو الليمفاوية من بثرات ضروع بقرة مصابة بالجدري البقرى ونثرها على ذراع إنسان ، فتكوّنت بثرة موضعية على الذراع ، ما لبثت بسرعة أن التأمت وتركت وراءها ندبة مميزة ، ولاحظ أن الإنسان الذى لقح بالجدري البقرى اكتسب مناعة ضد الإصابة بمرض الجدري الإنسانى العضال ، حتى أثناء انتشاره كوباء ، ولذلك عرفت هذه العملية باسم الفكسته (Vaccination) ، وهى اصطلاح لاتينى مشتق من كلمة « فاكا » (Vacca) بمعنى بقرة ،

وعرف فيما بعد أن فيروس الجدري البقرى ما هو إلا سلالة موهنة من فيروس الجدري الإنسانى . بمعنى أنه يستحث الأجساد الحية على تكوين الأجسام المضادة للجدري الإنسانى دون أن يسبب لها المرض إلا بمقدار يسير لا خطر منه .

وهناك ثلاثة طرز من المناعة ضد الأمراض الفيروسية وهى :

١ - المناعة الطبيعية (Natural Immunity) .

٢ - المناعة المكتسبة أو الصناعية (Acquired or artificial Immunity) .

٣ - المناعة المنتقلة (Passive Immunity) .

وتتمثل المناعة الطبيعية فى قدرة بعض الأشخاص على تمنيع أجسادهم ضد المرض الفيروسى لما تبديه الجاما جلوبيولينات (γ-globulins) الموجودة فى مصل الدم كمادة بروتينية من سرعة الاستجابة للإصابة الفيروسية فتحور نفسها على التو - شكلياً وكهربيّاً - لتتلازن مع الفيروس أو تعمل على امتزازه فتحول بذلك دون سريانه فى الجسد فى حالة حرة تمكنه من الاحتفاظ بقدرته التطفلية وإحداثه للمرض .

أما المناعة المكتسبة أو الصناعية فهى - كما يستدل من معناها - إكساب الأجساد الحية مناعة ضد الإصابات الفيروسية باستحثائها على تكوين الأجسام المضادة للفيروس المعتدى ، ويتم ذلك بإحدى الطرق الآتية :

(أ) الحقن بسلالات موهنة : وذلك بحقن الأجساد بسلالة موهنة من الفيروس الممرض ، ليس لها القدرة على إحداث المرض ولكن تحتفظ بقدرتها على توليد المضاد (Antigenic) ، ويتم التوهين (Attenuation) إما بتمرير الفيروس داخل جسم حيوان يجد من ضراوته كسبب لمرض يصيب الإنسان ولكن لا يحول دون احتفاظه بالقدرة على توليد المضاد ، كما هو الحال فى فيروس الجدري البقرى كسلالة موهنة لفيروس جدري

الإنسان ، أو بتكرار تمريره في مزارع نسيجية وحقنه في أجنة بيض الدجاج كما هو الحال في فيروس الحمى الصفراء .

(ب) الحقن بالحبيبات الفيروسية الميتة : وهذه الوسيلة متبعة للتمنيع ضد الكثير من الأمراض الفيروسية ، كأمراض الأنفلونزا والنكاف (التهاب الغدة النكفية) وشلل الأطفال . ويشمل اللقاح أجسام الفيروس ذاتها بعد قتلها في محلول الفورمالين (غالباً ٠.٢ ٪ فورمالدهيد) أو الفينول أو بالحرارة أو بتعريضها مدة كافية لأشعة إكس أو الأشعة فوق البنفسجية ، ويتم قتلها بهذه الكيماويات أو الإشعاعات لمدة تكفي لإبطال قدرتها على إحداث الأمراض دون أن يؤثر ذلك في قدرتها على توليد المضاد .

(ج) الإصابة بالفيروس عن الطريق غير المعتاد : لما كان لكل فيروس طريق خاص لانتشار داخل الأجساد يصل منه إلى الأنسجة أو الأعضاء المعنية التي يستطيع أن ينمو ويتكاثر بداخلها لإحداث المرض ، فإن حقن الفيروس في الطريق غير المعتاد لانتشاره وتكاثره لا تمكنه من الوصول إلى تلك الأنسجة أو الأعضاء القابلة للإصابة ، فيحول ذلك دون قدرته على إحداث المرض ولكن يستحث الأجساد على تكوين الأجسام المضادة لهذا الفيروس بالذات فيكسبها مناعة .

أما المناعة المتقلة (Passive Immunity) فتم بحقن الأشخاص المراد تمنيعهم ببلازما إنسان أو حيوان تحتوي على أجسام مضادة تم فعلاً تكوينها ، كبلازما إنسان أو حيوان لديه المناعة الطبيعية ضد أحد الأمراض الفيروسية أو تم فعلاً تمنيع جسده بإحدى الوسائل الصناعية ، ونستعمل هذه الطريقة في بعض الأحيان لاكتساب مناعة ضد فيروسى الحصبة وشلل الأطفال ، إذ وجد أثناء انتشار الوباء بإحدى تلك الفيروسات أن بعض الأشخاص لديهم القوة الفذة على مقاومة المرض ، لما تسبغ عليهم مناعهم الطبيعية من قدرة على التغلب على الإصابة الفيروسية ، ووجد أن مصل الدم عندهم يحتوى على

أجسام مضادة للفيروس بكميات وفيرة ، على هيئة بروتينات جلوبيولينية متحورة ومتكاملة مع حبيبات الفيروس شكلياً وكهربياً ، فتستخرج هذه البروتينات المتحورة بالذات (أو الأجسام المضادة للفيروس) ليحقن بها الأشخاص لإكسابهم مناعة متتقلة ضد المرض ، لا سيما عند ذبوع انتشاره كوباء .

وبجانب تمنيع الأجساد ضد الأمراض الفيروسية ، وجد أن بعض الفيروسات - لا سيما تلك التي تتميز بكبر أحجامها - تستجيب كالبكتيريا للمضادات الحيوية ، ومن أمثلة ذلك التأثير العلاجي لكل من الكلوروميستين والأوريثوميستين والكربوميستين (Carpomycin) على مرضى حمى الببغاء واللمف الزهري (Lymphogranuloma venereum) .

التلازن الدمى (Haemagglutination)

لاحظ هيرنس (Hirts) عام ١٩٤١ أن الدم إذا ألقى في سائل يحتوى على فيروس خاص فإن كرات الدم الحمر لا تلبث أن تتلازن بسرعة ، بمعنى أنها تتجمع مع بعضها البعض ومع الفيروس وترسب بطريقة مميزة ، ولا يحدث مثل هذا التلازن في السوائل الخالية من الفيروسات . ويرجع حدوث هذا التلازن الدمى إلى تشابك حبيبات الفيروس مع كرات الدم الحمر أو امتزازها بواسطة الكرات الأخيرة ، وأمكن إثبات ذلك بالأدلة الآتية :

١ - معايرة الفيروس الحر في السائل الذى محتويه قبل وبعد حدوث التلازن الدمى .

٢ - ١٠ لاحظ عند الفحص بالمجهر الإلكتروني للملازن الدمى (Blood agglutinate) من امتزاز خلايا كرات الدم الحمر للفيروس .

ويمكن التأكد من وجود فيروس ما له القدرة على التلازن الدمى فى مدى فترة قصيرة ، لا تتجاوز الساعة أو أقل ، ومن ثم يعتبر اختبار التلازن الدمى

هذا بمثابة أسهل الطرق وأسرعها لتبين وجود الفيروسات . وقد لوحظت هذه الخاصة بالذات في ثلاث مجموعات ، تعد إحداها - وهي المجموعة المحتوية على الفيروسات المسببة لأمراض النكاف ونيوكاسل الدجاج والإنفلونزا - من الأهمية بمكان ، لأنه أمكن الاستدلال منها على إمكانية مشاركة الفيروسات للأحياء في قدرتها على إنتاج الإنزيمات ، وهي المواد البروتينية التي تنتجها الكائنات الحية وتمكنها من تأدية عمليات الأيض وغيرها من عمليات حيوية .

وتستطيع الفيروسات - التي تنتمي إلى المجموعة المشار إليها - أن تعمل على تلازن كرات الدم الحمراء لكل من الإنسان وخنازير غينيا والدجاج ، إلا أن كرات الدم الحمراء المتلازمة بإحدى هذه الفيروسات لا تستطيع معاودة تلازنها بنفس الفيروس بالذات ، ولكن يحتفظ الفيروس المتحرر منها بخاصته التلازمية الدمية . وقد أمكن تفسير هذه الظاهرة على أساس أن التلازن بين الفيروس وكرات الدم الحمراء يتم نتيجة نشاط أنزيمي للفيروس على طبقة تحتية مستقرة عند مواضع خاصة على سطح كرة الدم الحمراء ، وأن هذا النشاط الإنزيمي ضروري لإتمام الترابط بينهما وإبراز ظاهرة التلازن الدمي ، ولا يتم استخلاص الفيروس من الملازن الدمي إلا عند استنفاد الطبقة التحتية اللازمة لإبراز النشاط الإنزيمي ، وبذلك تفقد كرة الدم الحمراء قدرتها على معاودة التلازن مع نفس الفيروس ، أو مع إحدى السلالات الوثيقة الصلة به .

الوضع التطوري للفيروسات

يتضح مما سبق أن الفيروسات تشارك الجهاد القادرة على التبلور وتشارك الأحياء قدرتها على التكاثر والانتشار والتطفر والاستجابة للعوامل الفيزيائية والكيميائية والإشعاعية ، بل وقد تشارك الأحياء في إحدى صفاتها الرئيسية وهي القدرة على إنتاج إنزيمات للقيام بعملياتها الحيوية ، ويستجيب البعض منها للمضادات الحيوية كما تستجيب لها الكائنات الدقيقة الحية ، ومن ثم فأول ما يتبادر إلى الأذهان هو التساؤل عما إذا كانت الفيروسات تنتمي إلى عالم

الجماد أو عالم الأحياء . وقد اختلفت الآراء ، فمن رأى يقول بأن الفيروسات هى كائنات ذات أحجام متناهية فى الصغر بحيث تعجز المجاهر الحالية - وحتى المجاهر الإلكترونية - عن أن تستبين وجودها ، وأن البلورات البروتينية التى توجد فى الأنسجة المصابة بها ما هى إلا إحدى نواتجها الأيضية ، وهناك رأى يقول بأن الفيروس ليس كائناً حياً بالمعنى المتداول للكلمة ، بل إنه يمثل مرحلة من مراحل تطور المادة الحية ، تعرف باسم المرحلة قبل الخلوية (Precellular).

ويتمشى رأى الأخير مع ما افترضه الكثيرون من علماء الأحياء بأن زيادة تعقيد المادة المتطورة من التربة - والمولدة للمادة الحية - هى السبب فى انصبابها بالتدرج فى قالب التعضى المعروف بالحياة . وهناك رأى ثالث يفترض أن الفيروسات تشبه الجينات (Genes) الموجودة فى المادة الكروماتينية لنواة الخلية ، وذلك من حيث القدرة على التحكم فى صفات الأنسجة وطريقة تكوينها والقدرة على التضاعف الذاتى داخل الخلايا الحية ، إلا أنها تختلف عن الجينات فى كونها مواد دخيلة تسبب الأمراض ، أما الجينات فتراكيب أساسية مستقرة فى كروماتين النواة وتتحكم فى صفات الأفراد ، ومما يعزر هذا التشابه بين الفيروسات والجينات ما تمخضت عنه دراسة العلاقة التطيفية بين طراز خاص من الفيروسات - يعرف باسم « البكتيريوفاجات » (Bacteriophages) وبين عوائلها البكتيرية الوحيدة الخلية .

البكتيريوفاجات

البكتيريوفاجات - أو لاقات البكتيريا - هى طراز خاص من الفيروسات تصيب البكتيريا وتتطفل عليها تطفلاً اجبارياً ، وهى مثل غيرها من فيروسات تتكون أساساً من حمض نووى (ر ن ا) وبروتين ، وهى تعيش على حساب البكتيريا التى تستقر بداخلها وتعمل على تكاثرها ، ولا تلبث أن تعمل على إتلاف الخلايا البكتيرية التى هيات سبل تكاثرها وازدهارها . ويرجع الفضل فى استكشاف البكتيريوفاجات إلى كل من العالم الانجليزى « تورت » (Twort) عام ١٩١٥ والعالم الفرنسى « ديريل » (D'Herelle) عام ١٩١٧ . إذ لاحظا

أن بعض عينات من مياه المجارى إذا عقيمت بالترشيح - للتخلص مما بها من بكتيريا - وأضيفت إلى مزرعة ينمو بها ميكروب مرض الدوسنتاريا ، فإن الأخير لا يلبث أن يذوب وينحل ويختفى اختفاء كلياً ، وقد سميت هذه الظاهرة فور اكتشافها ظاهرة « تورث - ديريل » نسبة إلى مستكشفها ، ثم أعطاها ديريل بعد ذلك لاسم البكتيريوفاج أو لاقم البكتيريا .

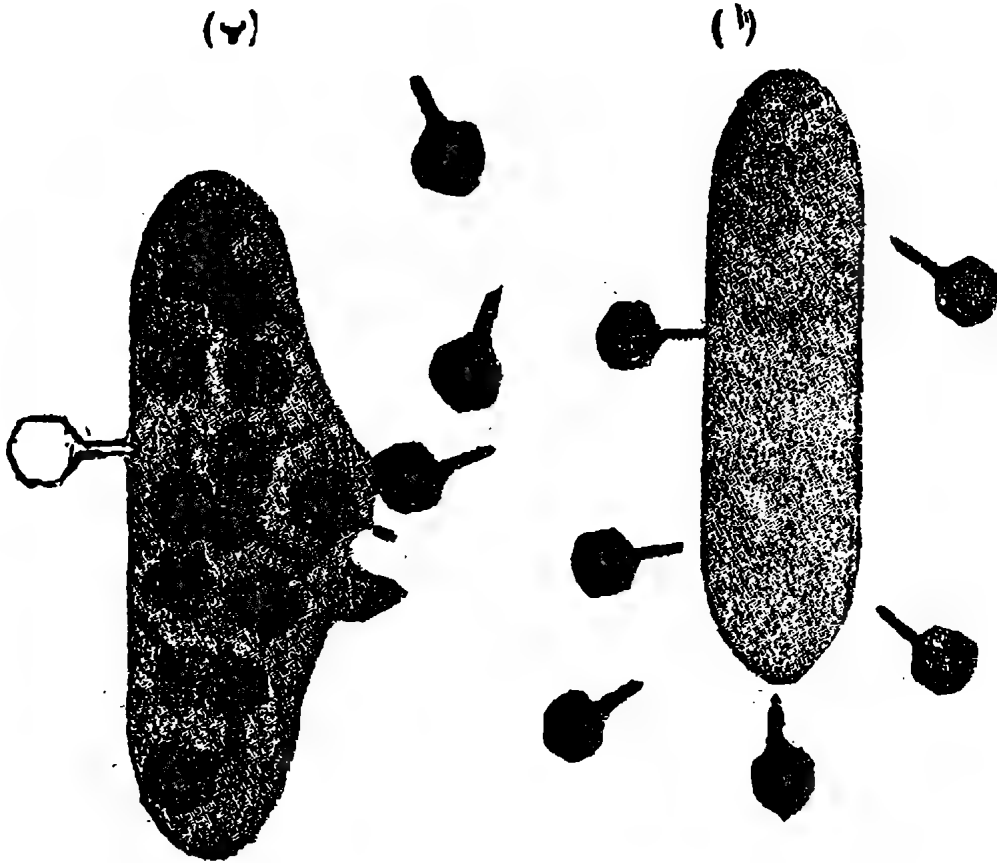
وهناك الكثير من البكتيريوفاجات يعيش كل منها على طراز أو نوع خاص من البكتيريا ، وأكثر البكتيريوفاجات التى تتناولها الدراسات التفصيلية هى تلك المتطفلة على البكتيرة المعوية المعروفة علمياً باسم « إشيريشيا كولاي » (*Escherichia coli*) ، وتعرف باسم « الكوليفاجات » (*Coliphages*) ، ويمثل (شكل ١٧٥) دورة حياة إحدى هذه البكتيريوفاجات ، حيث يتركب كل بكتيريوفاج من رأس سداسى الزوايا وزائدة ممتدة منه تشبه الذيل ، ويحتوى الرأس على الحمض النووى للبكتيريوفاج ، الذى يتصل بسطح البكتيرة بالجزء المنبسط من الذيل ، ويندفع الحمض النووى إلى داخل البكتيرة عن طريق هذا الذيل . ويستحث وجود الحمض النووى داخل البكتيرة إلى تكوين عدد من البكتيريوفاجات البنية ، وينتج عن ذلك تمزق جدار الخلية البكتيرية وتحرير ما بداخلها من بكتيريوفاجات ، ولا تلبث البكتيرة أن تذوب وتنحل ويحرق بها الهلاك .

إنتشار الفيروسات وتكاثرها :

الفيروسات هى الصور الستاتيكية للفيروسات ، إذ أنها خامدة كيميائياً ، وليس لها نشاط أىضى ولا تكاثرى مباشر . ووظيفتها الوحيدة هى تحقيق انتقال الفيروس من خلية إلى أخرى أو من عائل إلى آخر ، ولا تنشأ فيروسات جديدة عن طريق نمو وانقسام فيروسات قائمة وإنما تنشأ مباشرة من تجمع وتشكل جزيئات فيروسية جديدة داخل بروتوبلازم العائل ، حيث أن الحامض النووى فى الفيروس يتفاعل مع الجهاز الإنزيمى الخاص بالعائل ،

فيؤدي ذلك التفاعل إلى تكوين جزيئات تتشكل من جديد إلى فيروسات جديدة ، أى أن الفيروس يسخر الجهاز الأبيض الخاص بالعائل في إنتاج فيروس جديد .

(شكل ١٧٥)



طريقة إصابة ونكاية العدوى البكتيرية وفاجات داخل الخلية البكتيرية (أ) اتصال البكتيريوفاج بجدار الخلية البكتيرية ، (ب) انفجار حوض النيكوليك البكتيريوفاجى داخل الخلية البكتيرية وتكون بكتيريوفاجات بنوية ، ثم انفجار جدار الخلية البكتيرية وتحرر ما بداخلها من بكتيريوفاجات .

والسمة الأساسية لانتقال الفيروس وانتشاره هي إدخال الحامض النووى الفيروسى فى خلايا عائل قابل للإصابة بذلك الفيروس (شكل ١٧٦) ويحدث هذا الإدخال بإحدى طرق أربع تختلف باختلاف نوع الفيروس . فالبكتيريوفاجات تحقق حمضها النووى داخل خلية العائل محلفة الكايسيد الفارغ خارج الجدار الخلوى للخلية البكتيرية . وفى

عائل جديدة فإن مادة الـ « د ن أ » البكتيرية إما أن يستمر وجودها في صورة بلازميدة وإما أن تندمج ضمن الكروموسوم البكتيري . وبقدر ما هنالك من إمكانية إصابة أنواع متعددة من البكتيريا بنفس النوع من البكتيريوفاج فإن هناك أيضاً إمكانية انتقال المادة الوراثية فيما بين أنواع من البكتيريا لا تربطها ببعضها البعض أو أصر قرابة وثيقة . وفي هذه الحالة الأخيرة - كما في حالة انتقال البلازميدات عبر قنوات تزاوجية - هناك إمكانية اتساع مدى انتشار بعض الخصائص الفردية ، مثل خاصية اتساع المجال لمقاومة بعض العقاقير . إلى حدود تبعد كثيراً عن مركز وجودها الأصلي .

الأهمية الاقتصادية للفيروسات :

تستمد الفيروسات النباتية والحيوانية أهميتها من الأمراض التي تسببها . فمن أمثلة الأمراض الفيروسية التي تصيب النباتات مرض « التفاف أوراق البطاطس » (Potato leaf roll) « وتقرم الأرز » (Rice dwarf) ، « وتجعد القمة في سكر البنجر » (Sugar beet Curly top) « وتقرم الطماطم الشجيري » (Tomato bushy stunt) بالإضافة إلى مجموعة الأمراض المعروفة باسم « أمراض التبرقش » (Mosaic diseases) التي تصيب عدداً كبيراً من النباتات مثل الفول والخيار والبازلاء والتبغ واللفت والقمح . وقد سميت هذه المجموعة باسم أمراض التبرقش لأنها تمنع تكوين اليخضور في مواضع من الأوراق موزعة بنظام معين - غالباً على امتداد العروق الرئيسية في الأوراق المصابة . (شكل ١٦٥) . وينتقل العديد من الفيروسات النباتية بواسطة « نطاط الحشائش » (grasshopper) والمن وغير ذلك من أنواع الحشرات ، وتنصرف هذه الفيروسات أثناء فترة وجودها على الحشرات الناقلة ، كما لو كانت موجودة في عوائلها النباتية تماماً ، حيث تتكاثر بداخلها (أي بداخل الحشرات) ، إما محدثة بها أضراراً ظاهرة أو دون أن تسبب لها أية أضرار . وثمة فيروسات نباتية أخرى تنتقل إلى عوائلها بوسائل ميكانيكية ، وتدخل في جسم النبات العائل من خلال ثلمة أو خدش ، كما يمكن انتقال الفيروس أيضاً بعملية التطعيم (Grafting) .

أما الأمراض الفيروسية التي تصيب الحيوان فمن أنواعها فيروس حمى الدنج والإنفلونزا وجدري الدجاج وجدري الإنسان (Smallpox) وفيروس البرد العادي وفيروس مرض الحافر والقلم الذي يصيب الماشية والحصبة والنكاف والتهاب الغدة النكفية وشلل الأطفال وداء الكلب وكوليرا الخنازير واعتلال المزاج والورم الهلامي الذي يصيب الأرانب وهناك الكثير من الالتهابات والقروح تسببها الفيروسات ، كما اتضح مؤخراً أن بعض الحالات السرطانية التي تصيب الإنسان ترجع إلى مسببات فيروسية أو شبه فيروسية . وتنتقل نسبة كبيرة من الأمراض الفيروسية الحيوانية بالملامسة ، ولكن بعضها مثل فيروس الحمى الصفراء وبعض فيروسات التهاب الدماغ (Encephalitis) تنتقل بواسطة البعوض وغيرها من الحشرات العاصة .

أما عن مدى أهمية الفيروسات في الحد من أعداء البكتيريا فذلك ما لم يتم التوصل إلى معرفته حتى الآن . وهناك الكثير من الفاجات - المعروفة باسم « الفاجات المعتدلة » (Temperate phages) . تتكيف لعوائلها البكتيرية إلى حد انتقالها من جيل إلى جيل دون أن يحدث بها أى تكشف مورفولوجى ، إلا في حالات نادرة تنضج فيها الفيروسات إلى فيروسات محددة تتحرر بموت الخلية العائلة وانفتاحها وتمزقها .

والبكتريوفاجات - مثلها كمثلى بقية الفيروسات - يكون لكل منها غالباً عدة عوائل مختلفة ولكنها تكون أكثر فتكاً وضراوة في بعض العوائل ، بينما لا تسبب سوى أضراراً طفيفة لعوائل أخرى .

الرايكيتسيات وعلاقتها بالبكتيريا وبالفيروسات

أول من أضاف اللثام عن وجود الكائنات - المعروفة حالياً باسم « الرايكيتسيات » (Rickettsiae) - هو العالم هاوارد تايلر رايكيتس ، إذ لاحظ عام ١٩٠٩ وجود هذه الكائنات عندما فحص مجهرى دم مريض مصابين بالمرض المعروف بالحمى المنقطة للجبل الصخري ، ووجد أن هذه

الكائنات برغم أنها تبدو مظهرياً كالبيكتيريا ، ولكنها أصغر حجماً منها ، ولا تستطع النمو على منابت صناعية كالبيكتيريا ، ثم تبين فيما بعد أنها بمثابة حلقة اتصال بين البيكتيريا والفيروسات ، حيث تأخذ من كل من القسمين بعض الصفات (جدول ٩) .

والرايكسيات كائنات خلوية تشبه الفيروسات من حيث دقة أحجامها وقدرة بعض أصنافها على النفاذ خلال المرشحات البكتيرية ، ولو أنها تعيش عادة داخل الخلايا الحية لعوائلها كطفيليات إجبارية ، ولكنها تشبه في صفات أخرى البيكتيريا ، حيث تظهر عند فحصها تحت المجهر الإلكتروني ما تظهره

(جدول ٩)

الصفات الرئيسية لكل من البيكتيريا والفيروسات ، والصفات الوسطية بينها التي تظهرها الرايكسيات .

المجموعة	الصفات الشكائية	الحجم (بالميكرون)	التطفل	النفاذية للمرشحات البكتيرية	مدى التعقيم
البيكتيريا	عصوية كروية حلزونية خيوطية	(٥٠-٠.٥)	اختياري	لا تنفذ	خلوية معددة الجدور
الرايكسيات	كروية عصوية ثنائية سبجية	(٠.٣-٠.٦)	إجباري	بعضها ينفذ والبعض لا ينفذ	خلوية معددة الجدور
الفيروسات	بالمورات فيوكسوسية رويتينية متباينة الاشكال	(٠.١-٠.٣)	إجباري	تنفذ	غير خلوية

(جدول رقم ١٠)

بعض الأمراض الراكنتية التي تصيب الإنسان ، وهي إما مسببة عن أحد أنواع جنس « دايكتسيا » الذي يرمز له بالحرف « د » ، العرق ، فيما عدا حمى كوينزلاند المسببة عن أحد أنواع جنس « كوكسيللا » ،

الانتقال بواسطة	المستودع الطبيعي	الناقل الحشري	المسبب	اسم المرض
القمل إلى الإنسان ومن الإنسان إلى القمل	الإنسان القوارض	قمل الجسد الإنساني	بروزا كياي	تيفوس وبائي
الجرب ← البرغوث ← الجرب الجرب ← البرغوث ← الإنسان الإنسان ← البرغوث ← الإنسان	القوارض	براغيث الجرذان	موسيري	تيفوس مستوطن
منتجات المواشي المصابة من لحوم وألبان القوارض ينقل المرض بين الحيوانات	القوارض الماشية	القراد	كوكسيللا رنتياي	حمى كوينزلاند
البزاز الملوثة للقمل	الإنسان	قمل الجسد الإنساني	كوكيتانا	حمى الخنادق

البكتيريا من مميزات تركيبية ، كما يحتوى سيتوبلازمها على أحماض نووية وعدة إنزيمات وتبدو ككريات أو عضيات بالغة الضلالة ، وتتكاثر بالانفلاق الثنائى كما هو الحال فى البكتيريا ، ولكنها تفتقر إلى أعضاء حركة وإلى جراثيم ، وهى تصطبغ عادة اصطباًغاً باهتاً بما هو مألوف من الأصباغ ، وجميعها سالبة لصبغة جرام .

وتسبب الرايككتسيات بعض الأمراض الخطيرة للإنسان (جدول ١٠) ومن أبرزها مرض التيفوس ، ويمكن القول بوجه عام أن الأوساط الرئيسية لتطفل الرايككتسيات هى أجساد الأنواع المختلفة من الحشرات وغيرها من مفصليات ، بل وهناك من الأدلة القوية ما يعزز افتراض أن الأنواع المتطفلة على الإنسان كان يقتصّر تطفلها فى البداية على الحيوانات المفصلية دون غيرها من حيوانات ، وأن ما حدث من تطفلها الثانوى على الإنسان وغيره من ثدييات إنما هو نتيجة لما طبعت عليه هذه المفصليات المعدية من عادة امتصاص دم الحيوان والإنسان ، ومن ثم فتعمل هذه المفصليات بمثابة ناقلات للإصابات الرايككتسية من حيوان إلى حيوان ، أو من حيوان إلى إنسان ، أو من إنسان إلى إنسان .

الباب السادس عشر

الطحالب

الطحالب هي النباتات الثالوسية حقيقية النواة (فيما عدا الطحالب الخضراء المزرقة) تحتوي على يـخضور تستطيع بوساطته في وجود الماء وغاز ثاني أكسيد الكربون والطاقة الشمسية – أن تبني احتياجاتها الغذائية من المواد الكربوهيدراتية ، ومن ثم فتستطيع أن تعيش عيشة مستقلة . والمقصود بالنباتات الثالوسية (Thallus plants) تلك النباتات التي ليست لها جذور ولا أوراق ولا سيقان حقيقية كتلك المعروفة في النباتات الراقية . ويتباين تركيب الثالوس (أى الجسم النباتي) باختلاف الأجناس ، ففي الأجناس البدائية يكون الثالوس وحيد الخلية ، أو يتكون من مجموعة من خلايا متشابهة منفصلة تتجمع معاً على هيئة مستعمرة ، وفي أجناس أخرى يكون الثالوس خيطاً مقسماً أو غير مقسم . بسيطاً أو متفرعاً ، أما في الأجناس الطحلبية الراقية فتتشابك الخيوط وتلتحم لتكون تراكيب خلوية معقدة ، قد تتشابه فيها الخلايا جميعها من حيث الشكل والوظيفة أو تختلف في أشكالها وتجوهراتها باختلاف الوظائف التي تقوم بها . والخلايا الطحلبية – سواء كانت فردية أو متجمعة على هيئة خيوط أو مستعمرات أو تراكيب معقدة – ذات جدر خارجية محددة . والخلايا الخضرية (Vegetative cells) تكون غالباً – إلا في الأجناس الطحلبية البدائية – غير متحركة ، وتقتصر الحركة على الوحدات التناسلية من جراثيم سابحة (Zoospores) أو أمشاج (Gametes) جنسية .

أما الأجناس الطحلبية البدائية وحيدة الخلية – التي تشارك الحيوان قدرته على الحركة في الحالة الخضرية – فمنها ما تجمع بين الصفات الحيوانية والنباتية ومنها ما تقتصر على الصفات النباتية ، ومن الطراز الأول كائنات وحيدة الخلية ذات أسواط (Flagellae) تفتقر إلى جدار خلوي . كما هو الحال في الخلية الحيوانية ، ولكنها تحتوي على بلاستيدات خضراء تمكنها من القيام

بعملية التمثيل الكربوني والتغذية بطريقة نباتية ، إلا أن هناك بعضاً منها خالياً من اليخضور وتتناول مواد طعامها بطريقة حيوانية ، بل منها ما يختلف طرق تغذيتها باختلاف الظروف البيئية التي تعيش فيها ، فإن وجدت في الظلام أصبحت عديمة اللون وتغذت بطريقة حيوانية وإن تعرضت للضوء اخضر لونها وتغذت بطريقة نباتية ، وقد أطلق على هذه الكائنات الانتقالية - التي تجمع بين الصفات النباتية والحيوانية - اسم سوطيات (Flagellata) ، لأن أعضاء الحركة فيها على هيئة أسواط ، وهي تختلف عن أعضاء الحركة في الطحالب الحقيقية - التي تعرف بالأهداب (Cilia) - إذ أن الأعضاء الأخيرة أقل سمكاً وطولاً . وبسبب مشاركة السوطيات للحيوانات في بعض صفاتها وللنباتات في صفات أخرى فإن علماء الحيوان ينتحلون نسبتها إلى المملكة الحيوانية ، كما ينسبها علماء النبات إلى المملكة النباتية . وقد أجرى تقسيمها الآن إلى طوائف منفصلة ، حيث وضع علماء النبات جميع الطرز السوطية المحتوية على بلاستيدات خضر - أو التي يعوزها اليخضور ولكن تمت إلى الطرز اليخضورية منها بصلة الشكل أو غيره من مميزات - تحت طائفة خاصة من الطحالب تعرف بالطحالب اليوجلينية (Eugleno-phyceae) ، وتعتمد أكثر الطحالب بدائية لاحتفاظها ببعض الصفات الحيوانية ، أما في الطحالب الحقيقية المتحركة وحيدة الخلية فيوجد اليخضور على الدوام ، وتحاط الخلية بجدار سليولوزي محدد كاية خلية نباتية .

وتوجد مادة اليخضور في جميع الطحالب ، التي تنتشر انتشاراً واسعاً في الأماكن الرطبة الظليلة فتكسو التربة بكساء أخضر ، كما تعيش طافية أو مثبتة في المياه العذبة أو المالحة ، ولها قدرة على المعيشة في مدى واسع من درجات الحرارة والملوحة ، فمنها ما يستطيع النمو على الثلوج عند قمم الجبال وفي المناطق القطبية ، ومنها ما يستطيع النمو في الينابيع الحارة عند درجات عالية قد تبلغ ٨٩,٥ م° ، وكثير من الطحالب التي تعيش في المياه العذبة تستطيع أن تتكيف أيضاً لتواجه التركيزات الملحية العالية إذا قدر لها أن تعيش في مياه ملحية . والطحالب - ولو أنها في الأصل نباتات مائية -

إلا أن بعض أجناسها قد استطاعت أن تتكيف للنمو في التربة الرطبة وعلى قلف الأشجار وسطوح الصخور ، وتعيش بعضها متكافلة مع الفطريات في الأشن (Lichens) ، كما تعيش قلة منها متطفلة على الحيوانات أو النباتات الراقية .

تقسيم الطحالب :

يتوقف تقسيم الطحالب على المميزات الآتية :

١ - ماهية الأصباغ الموجودة في الحوامل الصبغية (Chromatophores)

٢ - نوع النواتج البنائية الفائضة التي تحتزنها الخلايا .

٣ - طرز التراكيب التناسلية .

أما من حيث ماهية الأصباغ الموجودة ، فالطحالب تحتوي على ما يزيد على أربع وأربعين صبغاً مختلفاً ، إلا أن الأصباغ الرئيسية التي يتوقف عليها التقسيم هي المبينة في (جدول ١١) . واللون الظاهري هو نتيجة الخلط الموجود من الأصباغ الخضراء والملونة حسب الطوائف المختلفة للطحالب كما يأتي :

جدول (١١)

(توزيع الأصباغ الخضراء والملونة بين طوائف الطحالب)

اسم الصبغ	لون الصبغ	طوائف الطحالب الموجود فيها
نخضور (Chlorophyll) (نخضور أ ، ب ، ج ، د)	أخضر	جميع الطحالب
فايكوسيانين (Phycocyanin)	أزرق	الطحالب الخضراء المزرقة والطحالب الحمراء
فايكو إريثرين (Phycoerythrin)	أحمر	الطحالب الحمراء والطحالب الخضراء المزرقة
فيوكوزانثين (Fucoxanthin)	بنى	الطحالب البنية والطحالب الخضراء المصفرة
زانثوفيل (Xanthophyll) وكاروتين (Carotene)	أصفر	جميع الطحالب

١ - طحالب يوجلينية (Euglenophyceae) : وهى خضراء اللون ، وحيدة الخلية ، تتحرك بأسواط وتفتقر خلية إلى جدار .

٢ - طحالب خضر (Chlorophyceae) : وهى خضراء اللون ، وحيدة الخلية أو متعددة الخلايا ، وتتميز الأجناس وحيدة الخلية فيها عن مثيلاتها فى الطحالب اليوجلينية بأن أعضاء الحركة فيها أهداب وليست أسواطاً ، وبأن لها جداراً خلويّاً كالخلية النباتية .

٣ - طحالب خضر مزرق (Cyanophyceae) : وتعرف أيضاً بالطحالب الهلامية (Myxophyceae) أو الطحالب المنشقة (Schizophyceae) ، ولونها أخضر مزرق بسبب زيادة صبغى اليخضور والفايكوسيانين الأزرق على غيرهما من الأصباغ ، ويكون الثالوس إما وحيد الخلية أو على هيئة مستعمرة أو خيط ، والأجناس وحيدة الخلية تفتقر إلى أعضاء حركة وهى فى حالتها الخضرية .

وهذا القسم من الطحالب يتبع بدائيات النواة ، وقد سبقت دراسته مع البكتريا فى الباب السابق ولن نعود إليه مرة أخرى .

٤ - طحالب خضر مصفرة : وفيها يسود صبغ اليخضور إما مع الأصباغ الصفراء كالزانشوفيل والكاروتين وإما مع الصبغ البنى « الفيكوزانثين » ومن ثم فيكون لونها الخارجى إما أخضر مصفراً أو بدياً ذهبياً . وأكثر طرزها إنتشاراً هى الدياتومات (Diatoms) ، وهى وحيدة الخلية ولها هياكل جدارية سيلكية تمتاز بجمال تصميمها وزخرفتها ، وتنتمى إلى فصيلة من الفصائل الثلاث التى تحتويها النباتات الخضراء المصفرة ، وتعرف بالطحالب العصوية (Bacillariophyceae) .

٥ - طحالب بنية (Phaeophyceae) : تحتوى على صبغ الفيكوزانثين البنى اللون الذى يضى عليها لوناً بدياً ، وأغلبيتها متعددة الخلايا وتعيش كطحالب بحرية .

٦ - طحالب حمراء (Rhodophyceae) : تحتوي على صبغ الفايكوبيرين الأحمر الذي يضاف إليها لوناً أحمر ، وغالبيتها متعددة الخلايا وتعيش كطحالب بحرية .

أما من حيث فائض النواتج البنائية الذي تخزنه الخلايا فيختلف باختلاف الطوائف الطحلبية ، فيكون في الطحالب اليوجلينية على هيئة عديد تسكر (Polysaccharide) يعرف بالباراميلون (Paramylon) ، ويختلف عن النشا تمام الاختلاف من حيث خواصه الكيميائية ، أما في الطحالب الخضراء فيكون غالباً عن هيئة نشا ، يتكون عادة حول أجسام بروتينية مميزة تعرف بمراكز نشا (Pyrenoids) ، وتشذ قلة من الطحالب الخضراء - مثل طحلب الفوشيريا (Vaucheria) - من حيث عدم وجود النشاء كفائض مدخر للنواتج البنائية ، وتحل محله حبيبات زيتية . أما الطحالب الخضراء المصفرة فتشابه الفوشيريا من حيث عدم وجود نشاء وحلول الحبيبات الزيتية محله كفائض مدخر للنواتج البنائية ، مما حدا ببعض العلماء إلى فصل الفوشيريا عن الطحالب الخضراء ووضعها مع الطحالب الخضراء المصفرة . وكذلك لا يوجد نشا على الإطلاق في كل من الطحالب الخضراء المزرققة والبنية والحمر ، ولكن توجد في الطحالب الخضراء المزرققة مادة شبيهة بالنشا الحيواني أو الجليكوجين (Glycogen) ، تعرف أحياناً باسم نشا الطحالب الخضراء المزرققة (Cyanophycean Starch) ، أما في الطحالب البنية فيكون الفائض إما نوعاً من الكربوهيدرات يعرف باللامينارين (Laminarin) أو حبيبات دهنية ، وفي الطحالب الحمراء يكون على هيئة نوع خاص من النشا يعرف بالنشا الفلوريدي (Floridean starch) .

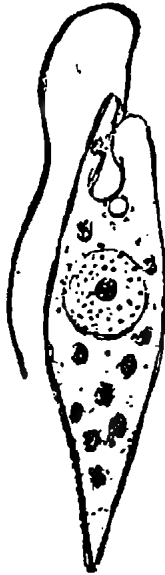
الطحالب اليوجلينية Euglenophyceae

تنتمي الطحالب اليوجلينية إلى قسم منفصل من الأقسام الرئيسية للنباتات يعرف بالنباتات اليوجلينية (Euglenophyta) ، الذي يحتوي على عدد قليل نسبياً من الكائنات وحيدة الخلية الهائمة ، يبلغ عددها حوالي ٢٥ جنساً و ٣٣٥٥ نوعاً ، وتحتوي النباتات اليوجلينية بالإضافة إلى الطحالب اليوجلينية

على عدد من الأجناس عديدة اللون شبيهة بالحيوانات الأولية ، ولكن لا تنطوى تحت الطحالب اليوجلينية سوى الأجناس اليخضورية ، أى التى تحتوى على يخضور وتنغذى بطريقة نباتية ، وهى تعيش غالباً فى المياه العذبة وأبرز أمثلة الطحالب اليوجلينية وأوسعها انتشاراً هو جنس يوجلينا (Euglena) الذى يبلغ من وفرته فى ظروف موسمية خاصة أن يصفى على الماء الذى يعيش فيه لوناً أخضر مميزاً .

يوجلينا (Euglena)

(شكل ١٧٧)



اليوجلينا، وبرى
الوسط خارجى
المرى، وتستقر
النقطة المبنية على
مقربة من الأخير،
وتوسط الحاية
نواة بها نوية ،
وتنقل البلاستيدات
الحضر والأجسام
الباراميلونية
داخل الخلية

توجد اليوجلينا بكثرة - لاسيما أثناء الصيف - فى المياه الغنية بالمواد العضوية كالبرك والمستنقعات وحقول الأرز المشبعة بالماء . وتتكون من خلية مستطيلة إلى حد ما أو مغزلية الشكل (شكل ١٧٧) وتوجد عند طرفها الأمامى قناة طويلة ضيقة تعرف بالمرىء (Gullet) ، يخرج من قاعدته سوط واحد يتحرك الكائن بواسطته ، وتوجد عند قاعدة القناة على أحد الجوانب نقطة عينية (Eye-spot or Stigma) حمراء اللون شديدة الحساسية للضوء ، كما توجد فجوة قابضة (Contractile vacuole) تصب محتوياتها فى المرىء ، وتعد الفجوة القابضة والمرىء بمثابة جهاز لإخراجى . وتتحرك اليوجلينا حركة لولبية ، ولعدم وجود جدار صلب يحيط بها فإن لبعض أنواعها القدرة على تغيير شكلها . وتوجد بالخلية نواة وبلاستيدات خضر، وينتج عن التمثيل الكربونى حبيبات صلبة تعرف بالأجسام الباراميلونية (Paramylon bodies) يختلف عددها باختلاف الأنواع ، والباراميلون (Paramylon) مركب شبيه بالنشا إلا أنه يختلف عنه فى الخواص الكيميائية .

(ب) مستعمرة طحلبية (Algal coenobium or colony) تتكون من عدة خلايا متجمعة ، لا يوجد تقسيم عمل (Division of labour) بين مكوناتها الخلوية ، بل تقوم كل خلية بسائر وجوه النشاط الحضري والتناسلي ، كمستعمرة الباندورينا (Pandorina) .

(ج) مستعمرة طحلبية راقية تتكون من عدة خلايا متجمعة ، تختلف في أشكالها باختلاف الوظائف التي تقوم بها ، فبها ما هو متخصص للوظيفة الحضرية ، ومنها ما هو متخصص للوظيفة التناسلية ، فهناك تخصص فسيولوجي (Physiological specialization) ، أو تقسيم عمل (Division of labour) بين الخلايا المكونة لها كمستعمرة الفوافوكس (Volvox) .

(د) خيط طحلي يتكون من صف واحد من خلايا مترابطة ، تحتفظ كل خلية منها بسائر وجوه نشاطها الحضري والتناسلي ، ويتم فيها التزاوج الجنسي (Sexual conjugation) بين محتويات خلايا خضرية عادية ، وتعد هذه المحتويات بمثابة أمشاج (Gametes) خالية من الأهداب وغير متحركة ، كما في طحلب السبيروجيرا (Spirogyra) .

(هـ) خيط طحلي متفرع لا توجد بداخله حواجز مستعرضة ، فيبدو الثالوس وكأنه مكون من خلية واحدة مستطيلة ومتفرعة تنتشر فيها أنوية كثيرة متفرقة . والتناسل الجنسي في هذا الطراز من الطحالب الخضر أكثر تقدماً منه في الطرز السابقة ، حيث تتميز الأمشاج الجنسية إلى سباحات ذكورية (Spermatozoids) تنتجها الأنثريادة (Antheridium) وبيضات (Ova) تتوالد داخل أوجونة (Oogonium) ، وتتميز الأنثريادة عن الأوجونة من حيث الشكل الخارجى والوظيفة ، ويعد هذا النوع من التناسل الجنسي أرقى الأنواع بين الطحالب الخضر ، كما في طحلب فوشيريا (Vaucheria) .

وسنتحدث عن كل من هذه الأنواع بشيء من التفصيل .

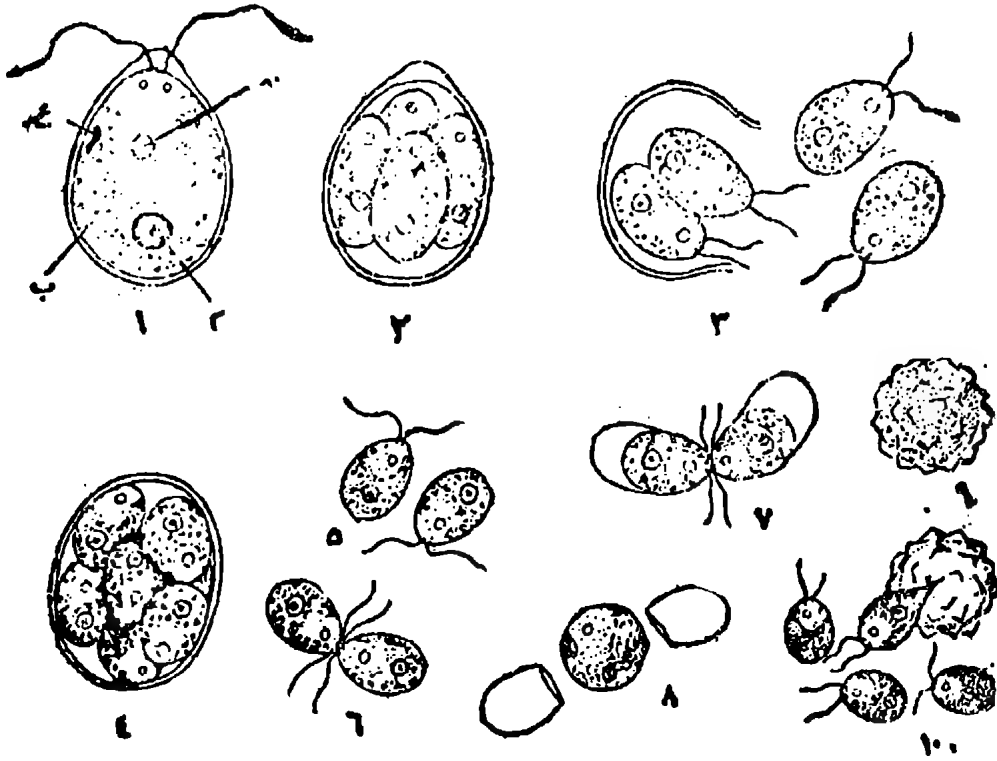
كلاميدوموناس (Chlamydomonas)

يعتبر الكلاميدوموناس من أوسع الطحالب الخضراء وحيدة الخلية (Unicellular) انتشاراً ، والخلية بيضية الشكل إلى حد ما (شكل ١٧٩ : ١) طرفها الأمامى مدبب ، ويتصل به هذان متساويان ، أما الطرف الخلفى فمستدير . ويتحرك الطحلب - في طوره الخضري - بوساطة الأهداب ، وتعد هذه الصفة شاذة بين النباتات .

وتتوسط الخلية نواة تتصل بجدارها بخيوط سيتوبلازمية ، وتوجد بلاستيدة خضراء على هيئة كأس كبير الحجم يشغل معظم فراغ الخلية . وهو غليظ عند القاعدة ويأخذ في الاستدقاق كلما اتجه صوب القمة ، ويوجد عند قاعدة الكأس مركز نشأ - أو مركزان في بعض الأحيان - يتجمع حوله النشا الناتج من عملية البناء للضوء . وتوجد عند الطرف الأمامى نقطة عينية (Stigma) شديدة الحساسية للضوء ، كما توجد فجوتان قابضتان (Contractile vacuoles) . ويتكاثر الكلاميدوموناس إما تكاثراً لا جنسياً (Asexual) أو جنسياً (Sexual) .

التناسل اللاجنسى : يتم التناسل اللاجنسى بوساطة جراثيم سابحة (Zoospores) متحركة ، وعند ابتداء هذا النوع من التناسل تأخذ حركة الخلية الخضراء في الإبطاء ، ومن ثم تستقر في موضعها وتفقد أهدابها وتتخذ شكلاً كروياً ، وتنقسم محتوياتها الداخلية (شكل ١٧٩ : ٢ و ٣) إلى قسمين أو أربعة أقسام أو أحياناً إلى ثمانية ، يمثل كل قسم وحدة تكاثرية لا جنسية . وعندما يكتمل تكوينها تظهر لها أهداب فتصبح جراثيم سابحة تشبه الأفراد البالغة تماماً من حيث المظهر العام ، وعندئذ تلمس نقطة ضعيفة في الجدار فتمزقها ، وتحرر منها الواحدة تلو الأخرى ، وتنمو كل جرثومة لتعطي طحلباً جديداً .

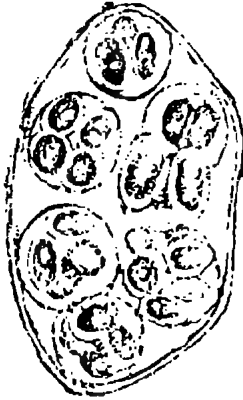
(شكل ١٧٩)



٥. كلابيد وموئاس ٥ يبين : (١) التركيب الخضرى للخلية وبها نواة (ن) وكأس
مخضورى (ب) عند قاعدته مركز نشاء (م) كما توجد عند الطرف الأمامى لخلية نقطة معينة
(ع) وغدران باضتان عند العدن المدين، ويرى نيكوب الجراثيم السابحة (٢) وتحررها
في (٣) أما الأشكال من (١٠-١) فتبين خطوات التناسل الجنسي ، حيث تتكون الأمشاج
(٤) وتحرر وتتزاوج لتكوين لائحة (٥-٩) ، ثم انقسام اللائحة بعد فترة تكون إلى
أربع جراثيم ساحة (١١) من روبيتر ورمكيت

الطور البالميللى (Palmella stage) : قد يحدث تحت ظروف ما زالت
إلى الآن غير معروفة تماماً أن يتحول هذا النوع من التناسل اللاجنسى ، وذلك
بسبب عدم قدرة الوحدات اللاجنسية الناتجة على تكوين أهذاب ، ومن ثم
يأخذ غشاء الخلية الأصلية - كما تأخذ الأغشية المحيطة بالوحدات اللاجنسية
غير المهذبة - في التغلظ تغلظاً هلامياً ، وتنقسم كل وحدة لاجنسية بدورها
إلى أربع وحدات ثانوية ، وهلم جرا . وتأخذ الوحدات الناتجة على التوالي
في الانقسام وتغلظ الجدران ، ويعرف هذا الطور بالطور البالميللى (شكل ١٨٠)

(شكل ١٨٠)



الطور البائلي
الكلاميدوموناس مبينا
تفلق جدران الوحدات
الاجنبية نفاذا خلاياها
ومعجزا عن تكون أهداب
لها ، وتوال انقسامها .

وهو لا يستمر إلا فترة محدودة ، حتى إذا نهأت الظروف المناسبة تكونت للوحدات الناتجة أهداب ، وتحورت الوحدات المهيدة - أو الجراثيم السابحة - بنفس الطريقة التي تتحرر بها في التناسل اللاجنسى العادى .

التناسل الجنسى : يحدث التناسل الجنسى فى الكلاميدوموناس بتكوين أمشاج ، إلا أن أحجام الأمشاج وطريقة تكوينها تختلف باختلاف الأنواع ففى بعض الأنواع يحدث التزاوج بين أمشاج متشابهة (Isogametes) وفى أنواع أخرى بين أمشاج متباينة (Heterogametes or Anisogametes) .

وتسكون غالبية أنواع الكلاميدوموناس المتشابهة الأمشاج (Isogamous) ثنائية المسكن (Dioecious) ،

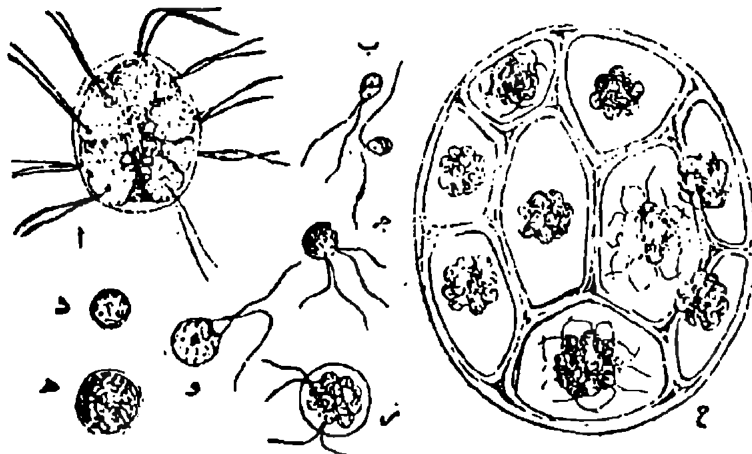
بمعنى أن التزاوج الجنسى يحدث بين أمشاج تكونها أفراد مختلفة تتميز بجنسيتها ، إلا أنها تتشابه ظاهريا ، فيأخذ كل فرد فى الاستقرار ويفقد أهدابه ، وتنقسم محتوياته الداخلية إلى عدد كبير من الأمشاج (شكل ١٧٩ : ٤) ، التى تشابه الجراثيم السابحة شكلا ولكن تصغرها حجما . ويندمج كل مشيجين (من فردين مختلفين) لتكوين لاقحة (Zygote) . وتظل كل لاقحة رباعية الأهداب متحركة لمدة قصيرة ، ثم تفقد أهدابها وتستقر وتتخذ شكلا مستديرا وتندمج بداخلها النواتان ، وتحيط اللاقحة المستقرة نفسها بغشاء غليظ - غالبا ما يكون منضدا - وتستطيع وهى على هذا الحال أن تتحمل لمدة طويلة كل الظروف السيئة التى تتعرض لها ، وتعرف بالجرثومة اللاقحية (Zygospore) وتعد بمثابة طور مقاوم فى تاريخ حياة الكلاميدوموناس ، حتى إذا ما نهأت الظروف المواتية لنموها نشطت وانقسمت محتوياتها إلى أربع - وفى النادر إلى ثمان - جراثيم سابحة ، لا تلبث أن تتحرر وتنمو كل واحدة منها مباشرة إلى طحلب جديد .

أما أنواع الكلاميدوموناس متباينة الأمشاج (Anisogamous) فتكون دائماً ثنائية المسكن ، إذ تتكون داخل أحد الأفراد أربعة أمشاج كبيرة (Macrogametes) وداخل فرد آخر -مميز جنسياً- ثمانية أمشاج صغيرة (Microgametes) ، تتم دورة حياتها على نفس المنوال كما في الأنواع متشابهة الأمشاج .

باندورينا (Pandorina)

الباندورينا مستعمرة طحلبية مائية موجودة باستمرار في مصر على مدار العام . وهي عبارة عن كرة مصمتة محاطة بغلاف هلامي ، وتتكون من ست عشرة خلية متشابهة (شكل ١٨١) ، كل واحدة منها شبيهة بالكلاميدوموناس والخلايا كثرية الشكل تنجّه قواعدها العريضة إلى الخارج ، وتحمل كل خلية هدبين عند طرفها العريض ، وتحرك المستعمرة بواسطة الحركة المحصلة التي تحدثها الأهداب جميعها ، وهي حركة حلزونية في اتجاه واحد تنشأ عن توافق حركة الأهداب جميعها . وتعد الباندورينا من المستعمرات الطحلبية البدائية من حيث ماهية تركيبها وعدم وجود تخصص فسيولوجي - أو تقسم عمل - بين الخلايا المكونة لها ، فكل خلية تعد قائمة بذاتها ، تعمل على تهيئة مواد غذائها وتتكاثر تكاثراً مستقلاً ، فتجتمع كل خلية بين الوظائف الخضرية والتناسلية ، وهناك طريقتان للتناسل ، إحداهما لاجنسية والأخرى جنسية .

(شكل ١٨١)



مستعمرة الباندورينا تبين التركيب الخضرى (أ) ، وطرق التناسل الجنسي (ب - ز) ، واللاجنسى (ح) يتكوّن مستعمرة بنوبة داخل كل خلية (أ عن جودوين)

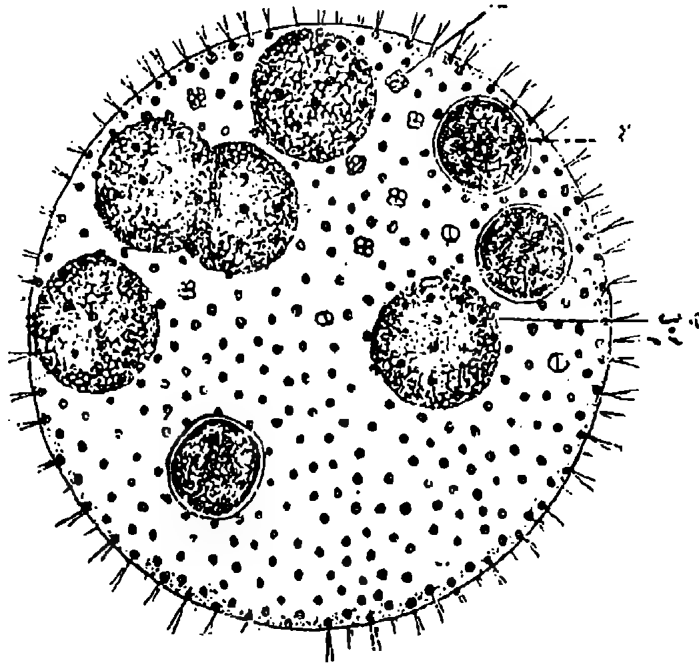
التناسل اللاجنسى : (شكل ١٨١ : ح) : يحدث التناسل اللاجنسى فى الباندورينا غالباً بانقسام محتويات كل خلية إلى وحدات لا جنسية تشبه - من حيث الشكل والعدد - الوحدات الخلوية فى المستعمرة الأصلية ، ثم تنتظم هذه الوحدات داخل كل خلية لتكوين مستعمرة بنوية (Daughter colony) ، لا يلبث حجمها أن يزداد بالتدرج حتى تسبب تمزق جدار الخلية الأصلية ، وتتحلل لتعطى بدورها مستعمرة جديدة .

التناسل الجنسى (شكل ١٨١ : ب - ز) : يحدث التناسل الجنسى هنا غالباً بتكوين أمشاج متباينة (Anisogametes) ، فتعطى بعض خلايا المستعمرة ستة عشرة مشيجاً كبيراً (Macrogametes) وتعطى خلايا أخرى اثنين وثلاثين مشيجاً صغيراً (Microgametes) ، ومن النادر أن يحدث التزاوج بين مشيجين صغيرين أو بين مشيجين كبيرين ، والغالب حدوث التزاوج بين مشيج صغير وآخر كبير ، فالتناسل الجنسى هنا من النوع المعروف باسم ، متباين الأمشاج « (Anisogamous) . وبعد الإخصاب تفقد اللاحقة أهدابها وتستقر ساكنة لفترة ما ، ثم تأخذ فى الإنبات لتعطى جرثومة ساجحة ثنائية الأهداب ، وتظل الجرثومة الأخيرة ساجحة بعض الوقت ثم تستقر وتفرز حولها غشاء هلامياً ، وتأخذ محتوياتها فى الانقسام إلى عدد من الوحدات يساوى عدد خلايا المستعمرة الأصلية ، وتنتظم الوحدات الناتجة بنفس ترتيب المستعمرة الأصلية لتعطى مستعمرة بنوية .

فولفوكس (Volvox)

تتكون مستعمرة الفولفوكس من عدد ضخم من الخلايا ، قد يصل فى بعض الأحيان إلى حوالى ٢٥٠٠٠ خلية ، وتصل إلى حجم رأس الدبوس . وهى تنتظم على هيئة كرة خضراء مجوفة ، من خلايا محيطية مغطاة بغلاف هلامى ، وتتصل الخلايا المحيطية ببعضها البعض بخيوط بروتوبلازمية (شكلاً ١٨٢ ، ١٨٣) . والخلايا الفردية المكونة لمستعمرة الفولفوكس ليست شبيهة بالكلاميدوموناس - كما هو الحال فى مستعمرة الباندورينا - بل تشبه طحلباً

(شكل ١٨٢)



مستعمرة ألفوفوكس تين الخلايا الجسدية ممثلة بدوائر صغيرة ، والأشربة (ن) عند
تكوينها ، والمستعمرة البنية (م . ب) ، واللائحة الصغيرة (ح) الناتجة عن
(عن جودوين)

آخر وحيد الخلية يعرف باسم « سفيريللا » (Sphaerella) ، وهو يختلف عن
الكلاميدوموناس في كون جدار الخلية مغلفاً تغلفاً هلامياً كبيراً ، وفي كون
كل خلية تحتوى على عدة مراكز نشا وفجوات قابضة . وتتميز خلايا
الفوفوكس إلى أربعة أنواع ، يقوم كل نوع منها بأداء وظيفة فسيولوجية
خاصة ، فظاهرة تقسيم العمل - أو التخصص الفسيولوجي - تبلغ هنا أقصى
مراتب التطور بين المستعمرات الطحلبية ، والأنواع الأربعة من الخلايا
المتخصصة فسيولوجياً هي :

١ - خلايا جسدية (Somatic cells) : وتشمل أغلبية الخلايا المكونة
لجسم المستعمرة الطحلبية ، وهي تقوم بالوظيفة الخضرية من حركة وتغذية
وتنفس وتمثيل .

٢ - جونيئات (Gonidia) : وهي خلايا قليلة العدد ، وتتميز منذ بدء
(م ٢٨ - النبات العام)

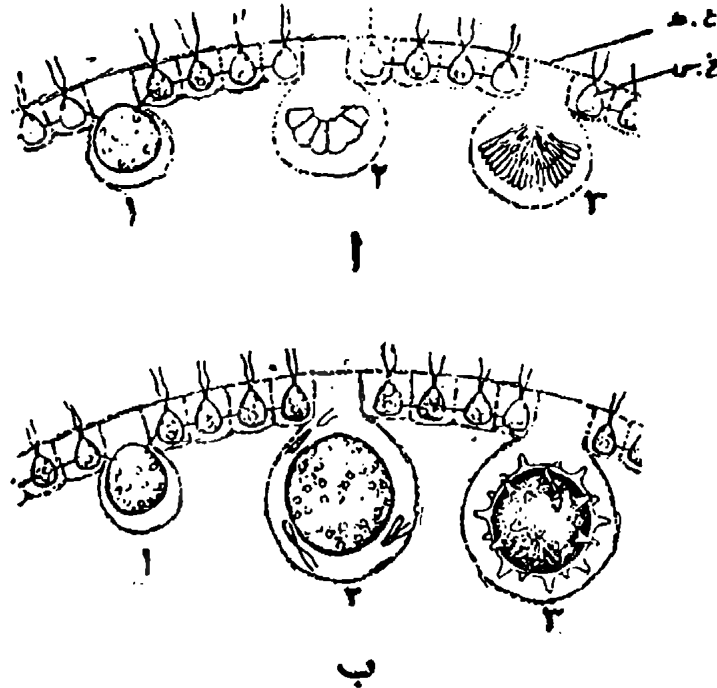
تكوين المستعمرة بكبر أحجامها نسبياً. وتخصص فسيولوجياً لإنتاج مستعمرات بنوية ، فهي خلايا متخصصة للقيام بالتناسل اللاجنسى .

٣ - أنثريدات (Antheridia) : هي خلايا متخصصة فسيولوجياً لإنتاج السباحات الذكرية (Spermatozoids) .

٤ - أوجونات (Oogonia) : هي خلايا تتخصص فسيولوجياً لإنتاج أمشاج أنثوية خالية من الأهداب تعرف بالبويضات (Ova) .

التناسل اللاجنسى (شكل ١٨٢) : لا تستطيع كل خلية في مستعمرة الفولفوكس - كما هو الحال في الباندرينا - أن تكون مستعمرة بنوية . ولكن تقتصر هذه القدرة على خلايا متخصصة قليلة العدد تعرف بالجونيئات ،

(شكل ١٨٣)



قطاع في جزء من مجبط مستعمرة الفولفوكس يبين : (١) الخطوات التدرجية (١-٣) لتكوين الأنثريدة من خلية حنسية ، و (٢) ترى كثلة من السباحات الذكرية داخل الأنثريدة ويرى أيضاً الفلاف الملامى (غ - هـ) المستعمرة ، والخلايا الجسدية (خ - س) . (ب) الأوجونات (١) محتوية على بيضة واحدة ، وترى الأخيرة في (٢) وقد أحاطت بها السباحات الذكرية ، و (٣) تم الإخصاب وتكوين اللاقحة (عن سميت وآخرين)

لا يزيد عددها عادة على ٢٥ خلية من مجموع خلايا المستعمرة الطحلبية .
وتتميز هذه الخلايا منذ ابتداء تكوين المستعمرة بكبر أحجامها بالنسبة للخلايا
الجسدية ، وتنقسم المحتويات الداخلية لكل جونيده (Gonidium) إلى عدد
كبير من الخلايا ، تنتظم بداخل الخلية على نفس المنوال الذى انتظمت به
المستعمرة الوالدة من قبل لتكوين مستعمرة بنوية ، وتأخذ الجونيده فى الازدياد
فى الحجم بازدياد نمو المستعمرة البنوية ، ولا تلبث الأخيرة أن تتحرر بتمزق
جدار الخلية الجونيدية وتتخذ طريقها داخل تجويف المستعمرة الوالدة . وقد
تصل إلى حجم كبير قبل أن تستطيع التحرر إلى خارج التجويف . ولا يحدث
ذلك إلا بعد موت المستعمرة الوالدة . ومما يلاحظ فى بعض الأحيان أن
المستعمرات البنوية قد تتميز بها مستعمرات ثانوية لجيل ثالث وهى ما زالت
محصورة بداخل تجويف المستعمرات الوالدة .

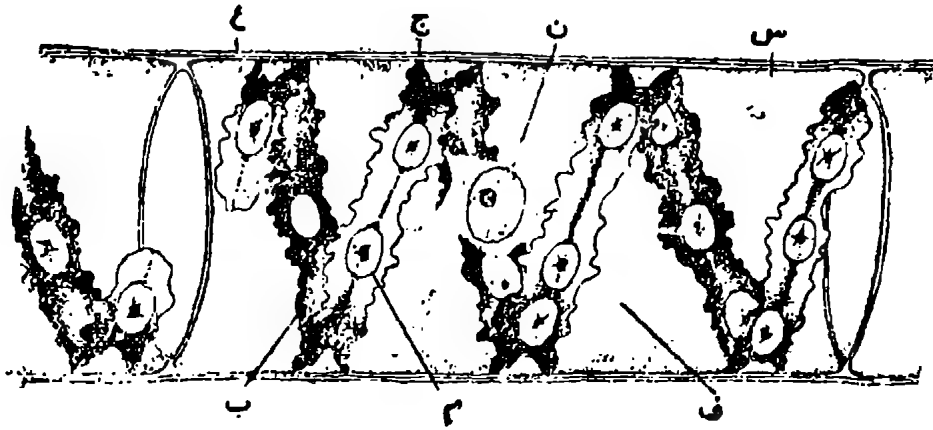
التناسل الجنسى (شكل ١٨٣ : أ ، ب) : تكون المستعمرة وحيدة
المسكن (Monoecious) - أى تحتوى على الأنثريدات والأوجونات معاً - فى
بعض أنواع الفولفوكس ، وفى أنواع أخرى تكون ثنائية المسكن (Dioecious)
تتميز فيها مستعمرات ذكرية بها أنثريدات وأخرى أنثوية تحتوى على أوجونات ،
وتنقسم المحتويات الداخلية لكل أنثريده إلى عدة سباحات ذكرية ثنائية الأهداب
تنظم على هيئة كتل كروية أو صفائح رقاق (شكل ١٨٣ : أ - ٣) أما
الأوجونة فلا تحتوى سوى بيضة واحدة ، وتتخذ السباحة الذكرية طريقها
صوب البيضة فتلقحها ، وتنمو اللاقحة - تحت ظروف النمو الملائمة - لتعطى
مستعمرة جديدة .

سبيروجيرا (Spirogyra)

تعد السبيروجيرا من أوسع الطحالب الخضراء انتشاراً وكثرة فى الرىم
الأخضر الذى يوجد عادة فى المياه العذبة ، ويكون فيها الخيط مقسماً وغير
متفرع . وتعد السبيروجيرا من الطحالب الخيطية البدائية ، إذ يتكون الخيط
من صف واحد من خلايا تنشابه جميعها من حيث التركيب والوظيفة ، فليس

هناك تقسيم عمل أو تخصص فسيولوجي بين الخلايا المكونة للحيط ويغلف كل خلية جدار تبطنه من الداخل طبقة رقيقة من السيتوبلازم المحيطي توجد به بلاستيدة خضراء أو أكثر - حسب الأنواع - والبلاستيدة كبيرة تمتد حلزونياً بامتداد طول الخلية (شكل ١٨٤) ، وحوافى البلاستيدة الخضراء متموجة . وتنتشر بداخلها مراكز النشا (Pyrenoids) ، أما بقية الخلية فتشغلها فجوة كبيرة ، تتوسطها نواة تتصل بالسيتوبلازم المحيطي بحزم سيتوبلازمية (Cytoplasmic strands)

(شكل ١٨٤)



جزء من خيط طحالب السيروجيرا بين النواة (ن) والبلاستيدة الخضراء (ب) .
وبها مراكز النشا (م) ، وجدار الخلية (ج) مخارجه عشاء هلامي (ح) رقيق ويري
السيتوبلازم (س) يحيط بفجوة (ب) داخلية . ونلاحظ أيضا الحدر المسدده الفاصلة بين
الخلايا المتجاورة

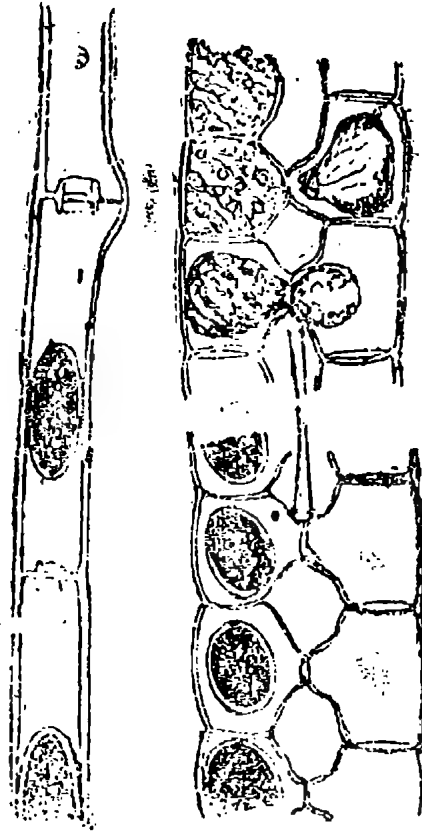
. الأزواج (Conjugation) : يحدث الأزواج بين المحتويات البروتوبلازمية لخليتين خضريتين (شكل ١٨٥) ، فتعمل كل خلية خضرية كحافضة مشيجية (Gametangium) ، إذ تنكش محتوياتها البروتوبلازمية لتكوين مشيج واحد غير مهذب يتحرك بحركة أميبية بطيئة . ويحدث الأزواج إما بين خليتين متقابلتين لحيطين متميزين ، ويعرف بالأزواج السلمى (Scalariform conjugation) وإما بين خليتين متجاورتين من نفس الحيط ويعرف بالأزواج الجانبي (Lateral Conjugation) ، وفي كلا النوعين تتكون اللاقحة إما في إحدى

الخليتين المتزاوجتين ، وإما بداخل القناة التزاوجية (Conjugation canal) الناتجة عن التحام الأنبوبتين التزاوجيتين (Conjugation tubes) ، وذلك بإحدى الطرق الأربع الآتية :

١ - في التزاوج السلمي ، إذا كانت الخليتان المتزاوجتان في خيطين يتميزان فسيولوجياً ، انتقل المشيج من الخيط الذكري إلى الخيط الأنثوي . وتكونت اللاقحة داخل خلية الخيط الأنثوي .

٢ - في التزاوج السلمي ، إذا كانت الخليتان المتزاوجتان من خيطين متشابهين فسيولوجياً . التقى المشيجان وتكونت اللاقحة في القناة التزاوجية الناتجة عن اتحاد الأنبوبتين التزاوجيتين .

(شكل ١٨٥)



٣ - في التزاوج الجانبي ، إذا كانت الخليتان المتزاوجتان المتجاورتان متميزتين فسيولوجياً ، انتقل المشيج من الخلية الذكرية إلى الخلية الأنثوية ، وتكونت اللاقحة في الخلية الأخيرة .

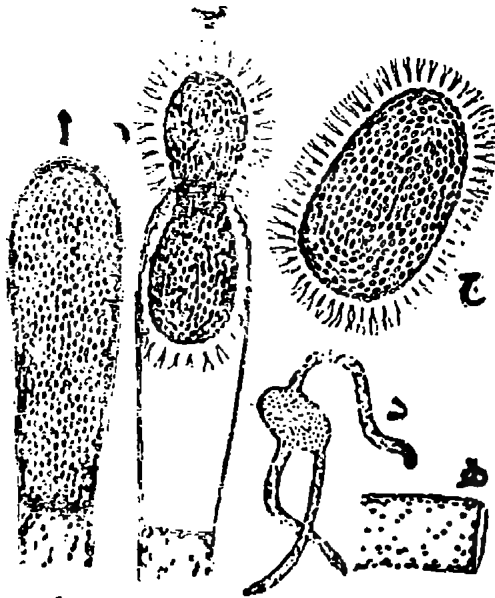
٤ - في التزاوج الجانبي ، إذا كانت الخليتان المتزاوجتان المتجاورتان متشابهتين فسيولوجياً . تكونت اللاقحة في القناة التزاوجية بين الخليتين .

التزاوج الجنسي معالج في السيرة جبراه ، بين إلى اليدين تزاوجاً سلمياً وإلى اليسار زواجا جانبيا ، وفي التزاوج السلمي يمر في أعلى انتقال المشاج من الخيط الذكري إلى الأنثوي ، وأسفل ترى اللاقحات داخل خلايا الخيط الأخير .

وفي جميع الحالات تعطى كل خلية متزاوجة أنبوبة ، تعرف باسم الأنبوبة التزاوجية ، وتستمر الأنبوبتان المتكونتان من الخليتين المتزاوجتين في

التقدم إحداهما نحو الأخرى حتى تتلاقيا، وتختفي ما بينهما من جدر لتكونا قناة تزاجية . وينقل المشيجان بحركة أميبية ، وتندمج محتوياتهما البروتوبلازمية إما في القناة التزاجية — إذا كانت الخليتان المتزاوجتان متشابهتين فسيولوجياً — وإما في الخلية الأنثوية عند التباين الفسيولوجي . أما الاندماج بين نواتي المشيجين فلا يحدث إلا في مرحلة متأخرة من الإخصاب ، وهناك من الأدلة ما تعزز أن البلاستيدات الخضر للمشيج الذكرى لا تلبث أن يصبها الانحلال ، بينما تستمر في اللاقحة تلك المستمدة من المشيج الأنثوي ، وتمر اللاقحة بفترة سكون ، ثم تحيط نسلها بجدار سميك ، وتعرف حينئذ بالجرثومة اللاقحية (Zygospore) . ولا تلبث النواة المندمجة للجرثومة اللاقحية أن تنقسم مرتين — أولاهما انقسام اختزالي — لتعطي أربع أنوية ، تنحل ثلاث منها ، بينما تستمر الرابعة لتكوين نواة الجرثومة الملقحة ، التي تثبت مباشرة لعمق طحلباً جديداً وبجانب التناسل الجنسي ، تستطيع السبروجيرا — كأغلبية الطحالب الخضر الحيطية — أن تتكاثر خضرياً ، وذلك بانفصال الحيط إلى عدة أجزاء ، يستطيع كل جزء منها أن ينمو مباشرة إلى طحلب جديد .

(شكل ١٨٦)



• فوشيريا • تين كلبية تكوين
المانطة الجرثومية والجرثومة المسابحة
عديدة الأهداب ومحررها (أ - ج) ،
وترى الجرثومة بعد الانبات (د) ، وجزء
مكبر من أنبوبة الإناث (هـ) (عن سميت)

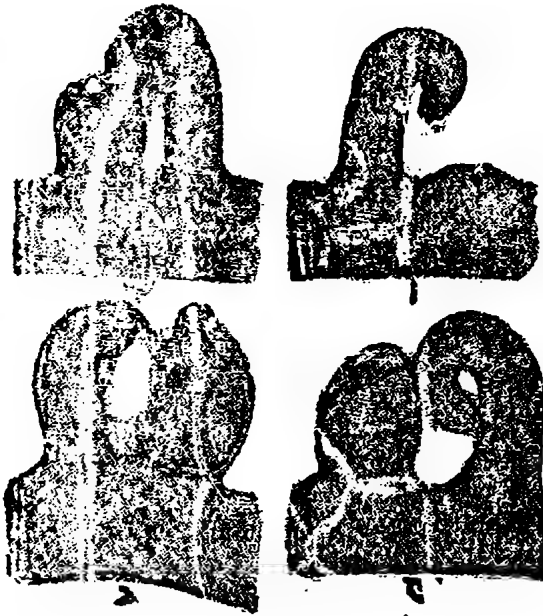
فوشيريا (Vaucheria)

توجد الفوشيريا بكثرة في المياه العذبة، كما تنمو في التربة الظليلة الرطبة وتعيش بعض أنواعها في المياه المالحة . وينسكون ثالوسها من خيوط متفرعة ومتشابهة ، تنظم مع بعضها البعض مكررة ما يشبه الحصيرة، ولا توجد جدر مستعرضة فاصلة داخل خيوطها بل تنتشر الأنوية والبلاستيدات الخضر بداخلها ،

ولا تحتزن المواد الزائدة الناتجة عن عملية البناء الضوئي كنشا - كما في غيرها من الطحالب الخضراء - بل على هيئة حبيبات زيتية ، وكذلك لا توجد بها مراكز نشوية . وتتناسل انموشيريا لاجنسياً (شكل ١٨٦) وجنسياً (شكل ١٨٧) .

التناسل اللاجنسى : عند ابتداء التناسل اللاجنسى يأخذ طرف أحد الفروع في الانتفاخ ويمتلئ بالسيتوبلازم والبلاستيدات الخضراء (شكل ١٨٦ : أ) ، وينفصل الطرف المنتفخ عن بقية الخيط بواسطة جدار مستعرض ومن ثم تتكون حافظة جراثيم سابحة (Zoosporangium) طرفيه ، تتخذ أنويتها وضعاً محيطياً ، ويتكون هذان مقابل كل نواة محيطية . ولا تائب الجرثومة السابحة (Zoospore) المركبة عذبة الأهداب أن تتحرر إلى

(شكل ١٨٧)



التركيب الخضري والتناسل الجنسي للطحالب
الأنموشيريا ، وترى الخطوات التالية (أ - د)
في تكوين الأثرية والأوجونة ، وي (د)
ثم اللاسحاب وأنزعت الأثرية - التي تسمى
إلى اليدين - عذباتها من السابحات الذكرية ،
أما الأوجونة التي تسمى إلى اليدين - فتتبعها
البقرة المنقبلة السابحات الذكرية (ع - ح) .

الخارج خلال فتحة طرفية
تحتها في حافظة الجراثيم
السابحة (شكل ١٨٦ : ب)
وتظل الجرثومة السابحة بعد
تحررها (شكل ١٨٦ : ج)
متحركة لفترة ما ثم تفقد
أهدابها وتأخذ في الاستقرار .
وتعطي الجرثومة السابحة عند
الإنبات أنبوبتين تتصل
إحداهما بطبقة تحتية فترتبط
بها وتنشبت وذلك بتكوين
ماسك (Holdfast) ، أما
الأخرى فتستمر في الإنبات
إلى طحلب جديد .

التناسل الجنسي : تنشأ
الأوجونة كبروز جانبي

(شكل ١٨٧ : أ) ، لا يلبث أن يتخذ شكلاً كروياً (شكل ١٨٧ : ب) ، وتتميز محتوياته على هيئة بيضة واحدة وحيدة النواة وغنية بالمواد الغذائية. أما الأنثريدة فتتسبب بجوارها كأنبوبة اسطوانية مقوسة ، تنفصل بجدار مستعرض عن بقية الحيط (شكل ١٨٧ : ج) وتنتج الأنثريدة عدداً كبيراً من السباحات الذكرية كثيرة الشكل ثنائية الأهداب ، وفيها تنظم الأهداب جانبياً ، وتخصب البيضة ساحة ذكرية واحدة ، وتنمو اللاقحة لتكون طحلباً جديداً .

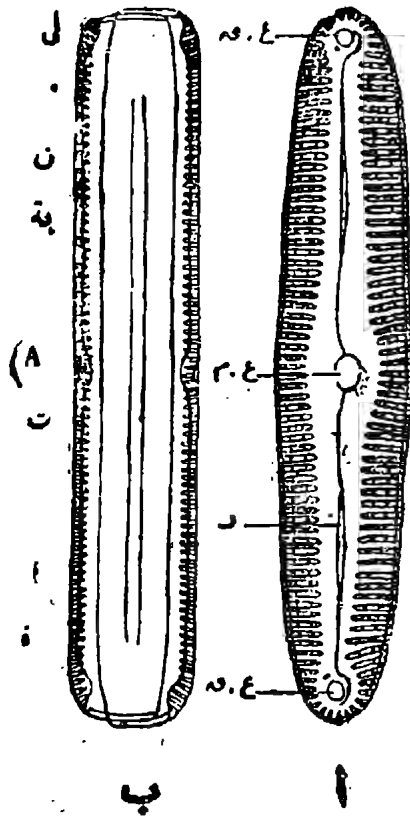
الطحالب العصوية (Bacillariophyceae)

تنتمي الطحالب العصوية أو الدياتومات (Diatoms) إلى مجموعة الطحالب المصفرة، وهي مجموعة من الطحالب تحتوي على عدة فصائل طحلبية وتتميز بسيادة الصبغ البنى والأصباغ الصفراء مع اليخضر ، وأبرز فصائل الطحالب الخضر المصفرة هي فصيلة الدياتومات التي تحتوي على أكثر من خمسة آلاف نوع من نباتات وحيدة الخلية ، توجد غالباً في المياه العذبة والمالحة والتربة الرطبة وهي تعيش إما طافية أو عالقة بغيرها من طحالب خيطية أو نباتات أخرى ، وتعد طعاماً هاماً وسائغاً للأسماك . ومع أن غالبية الدياتومات توجد كخلايا منفردة ، إلا أن بعضها يكون مستعمرات تتخذ شتى الأشكال ، وتتكون المستعمرة الدياتومية نتيجة لتهاسك عدة خلايا داخل غشاء هلامي مشترك ، وتكون عادة رواسب هلامية بنية اللون على الطمي أو الأحجار أو القواقع أو النباتات المائية .

وتتميز الدياتومات عما عداها من الطحالب من حيث انتظام جدرانها الخلوية وتركيبها من مواد سيليكية ، إذ يتكون جدار الخلية من صمامين (Valves) يتراكبان معاً بحيث يعلو أحدهما الآخر كما يعلو الصندوق غطاؤه (شكل ١٨٨) ويسمى الصمام المتراكب خارجياً بالغمد الفوق

(Epitheca) والصمام المتراكب بداخله بالغمد التحتي (Hypotheca) ، ويسمى المكان الذى يلتقى فيه الصمامان بالحزام (Girdle) . ويتركب جدار الخلية غالباً من مادة البكتين المشبعة بكميات كبيرة من السيليكا . وتمتد فيه عدة خطوط دقيقة عرضية تضفى عليه أشكالاً منتظمة ومعقدة ، مما يجعل الدياتومات من أبرز وأجمل المراتب المجهرية . ويمكن رؤية الخلية

(شكل ١٨٨)



الدياتوم أو المحلب المسمى كما يرى في المظهر (أ) وفي منظر جانبي (ب) ، وبين المنظر الصامى الرافية (ر) والعدسة المركزية (ع م) والعدسة القطبية (ع ق) .

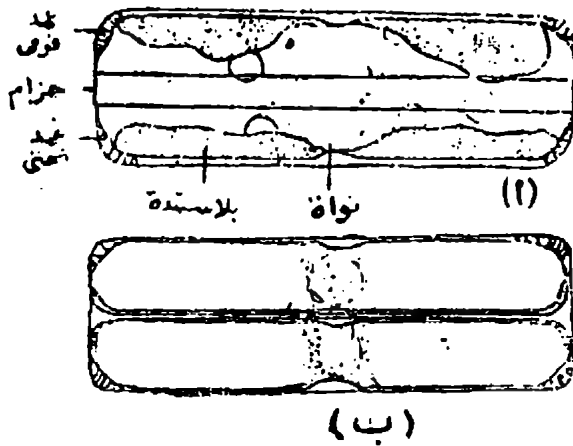
الدياتومية من وجهين ، وجه جانبي أو حزامي (Side or girdle view) ووجه أمامي أو صامى (Fronte or valve view) ، وتختلف الدياتومات مظهرياً باختلاف أشكال الصمام المكونة لها ففي بعضها يكون الصمام مستديراً أو بيضياً ، وفي بعضها يكون مستطيلاً أو مثلث الزوايا أو عديدها . وتتميز الدياتومات المستطيلة غالباً بوجود رفاية (Raphe) على هيئة شق طولى يمتد وسط الصمام وتنظم عليه عقد قطبية (Polar nodules) وعقدة مركزية (Central nodule) كما هو مبين بالشكل وتستطيع مثل هذه الدياتومات أن تتحرك ، وتم الحركة بواسطة الانسياب البرتوبلازمى للخلية خلال الرفاية بطريقة مشابهة للطريقة التى تتم بها الحركة الأميبية .

وتستقر النواة فى غالبية الدياتومات وسط الخلية معلقة ومتصلة بالسيتوبلازم المحيطى - المجاور لجدار الخلية - بقنطرة سيتوبلازمية ، ويكون السيتوبلازم المحيطى رقيقاً ويحتوى على حامل صبغي أو أكثر ، وغالباً

ما تكون الحوامل بنية اللون أو صفراء ، ونادراً ما تكون خضراء ، ولا تحتوى الخلية الدياتومية على نشا ولكن تدخر المواد الغذائية غالباً على هيئة زيوت .

وتتكاثر الدياتومات أساساً بواسطة الانشقاق (Fission) ، إذ تنقسم الخلية - في مستوى عمودى على الصمامين - فينفصل الصمامان ، وينقسم بروتوبلازم كل خلية (شكل ١٨٩) ، ويكون كل بروتوبلازم ناتج صامماً جديداً يكسره بيانيه العارى ويتراكم مع الصمام القديم ، ويستقر الصمام

(شكل ١٨٩)



الجديد دائماً داخل الصمام القديم ، سواء أكان الأخير غديداً فوقياً أو تحتياً في الخلية الأصلية ، ولذلك فإن إحدى الخليتين الناتجتين تشابه الخلية الأبوية في الحجم ، أما الخلية الأخرى فتكون أصغر منها حجماً ،

وكلاً ما توالى الانقسام ، والديتان وخليه دياتومية ، وترى القلية و (١) منه الوجه المواجه وال (ب) وله انقسمت الى خائنته (من بول) .

قلت بالتدريج أحجام الأفراد الناجمة ، بحيث تصل في النهاية الى أقل حجم يمكن أن يصل إليه النوع . وهنا يأخذ الدياتوم في استرداد حجمه الأصلي بتكوين جراثيم نامية (Auxospores) . أما التناسل الجنسي (Sexual reproduction) في الدياتومات فيتم بإحدى طريقتين :

(أ) تزاوج بين خليتين دياتوميتين لتكوين جرثومة نامية (Auxospore)

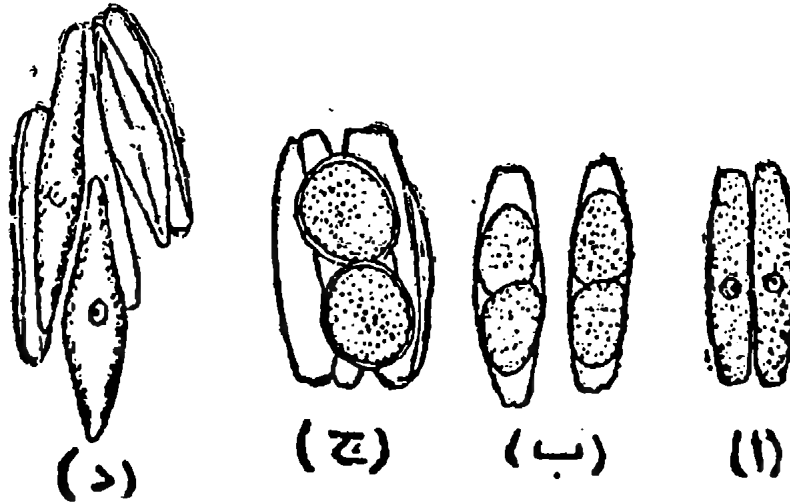
تنبت مباشرة لتعطي فرداً جديداً .

(ب) تزاوج بين أمشاج - متشابهة أو متباينة - ناتجة على انقسام خليتين

دياتوميتين مختلفتين .

وفي الطريقة الثانية من التزاوج (شكل ١٩٠) ، تقرب خليتان ومحيط بهما غلاف هلامي مشترك ، ثم ينقسم بروتوبلازم كل خلية إلى مشيجين يكونان متشابهين في بعض الدياتومات ومختلفين في دياتومات أخرى ، ثم تتحرر الأمشاج من خلاياها وتأخذ في التزاوج ، ولا يحدث التزاوج إلا بين مشيجين من خليتين دياتوميتين مختلفتين ، وتستطيل كل لاقحة — من اللاقحتين الناتجتين — لتكون جرثومة نامية (Auxospore) كبيرة الحجم ، لا تلبث أن تكون لها صمامين وتتميز مباشرة إلى دياتوم جديد .

(شكل ١٩٠)



المراحل المختلفة في التزاوج بين خليتين دياتوميتين، حيث تقربان في (١)، وتنقسم كل خلية إلى مشيجين في (ب) ، ويتزاوج كل مشيجين في من فردين مختلفين في (ج) لتكوين لاقحتين، ثم لاقحات كل لاقحة إلى جرثومة نامية في (د) (من بولد) .

وتعد الدياتومات من أقدم النباتات المعروفة ، ومما يدل على أنها كانت واسعة الانتشار في العصور الجيولوجية القديمة ما وجد من شدة تراكم التربة الدياتومية (Diatomaceous earth) في نواحي متعددة ومتفرقة من العالم وهذه التربة تتكون من توالى ترسيب الجدر السيليكية الناتجة من تراكم جدر الخلايا الدياتومية الميتة. والتربة السيليكية النقية هي مسحوق مركب من جدر وأجزاء الدياتومات ، بعد تنقيتها بالغليان مع حمض الأيدروكلوريك المخفف

وغسلها وتكليسها ، وتستغل هذه التربة الدياتومية في كثير من الصناعات كصناعة الديناميت لامتصاص النيتروجلسرين ، كما تستعمل في ترشيح السوائل وكمادة عازلة للحرارة في الخزانات وأفران الاحتراق ، وكمادة صاقلة للمعادن ومالئة لمعاجين الأسنان وفي صناعة مساحيق الوجه والصابون والطلاء .

الطحالب البنية

يتباين الثاوس في الطحالب البنية من خيوط بسيطة أو متفرعة إلى تراكيب خلوية تتميز داخلياً إلى أنسجة ، وتكون كل خلية وحيدة النواة

(شكل ١٩١)



ثاوس الطحلب البني « فيوكاس » ، الذي يتفرع نفعاً ثنائياً الغصن وتتفتح أطرافه حيث تسقط الحوافظ الجنسية (من هوبت) .

وتحتوى على حاملات أصباغ (Chromatophores) بنية بجانب البلاستيدات الخضراء . وتشمل الطحالب البنية رتبة كثر ، إلا أن الثالوس يصل إلى درجة كبيرة من التعقيد . في رتبة الفيوكات (Fucales) ، التي ينتمى إليها جنس فيوكاس (Fucus) والسرجاسام (Sargassum) . ويعمد الفيوكاس (شكل ١٩١) من أوسع الطحالب البنية انتشاراً ، ويوجد على السواحل الصخرية البحار ، خصوصاً في المناطق الباردة . ويعرف باسم عشب البحر أو صوف صفور البحر أو عشب الصفور ، لأنه ينمو على الصخور ، ويكثر وجوده على شاطئ المحيط الأطلنطي . ويكون الثالوس منبسطاً ويتفرع تفرعاً ثنائى الشعب ، وينمو بواسطة خلية طرفية توجد عند قاعدة تجويف قمى . أما السرجاسام (شكل ١٩٢) فيشتق اسمه من اسم بحر سرجاسو الموجود في المحيط الأطلسي ، إذ يوجد فيه بكثافة كبيرة تعطل الملاحة في هذا البحر وفي هذا الطحلب لا يقتصر نمز الأجزاء على داخل الثالوس - كما هو الحال في الفيوكاس - بل يتشكل الثالوس أيضاً خارجياً إلى تراكيب شبيهة بالفروع الجانبية ، وتحتوى التراكيب الأخيرة على الحواظف الجنسية (Conceptacles) .

(شكل ١٩٢)



جزء من ثالوس الطحلب البنى (سرجاسام) يبين الشكل الظاهري للثالوس إلى تراكيب شبيهة بالفروع الجانبية وأخرى شبيهة بالأوراق (عن هوبت)

الخال في الفيوكاس - بل يتشكل الثالوس أيضاً خارجياً إلى تراكيب شبيهة بالفروع الجانبية ، وتحتوى التراكيب الأخيرة على الحواظف الجنسية (Conceptacles) .

ويتميز الثالوس داخلياً - في كل من الفيوكاس والسرجاسام - إلى الأنسجة الآتية (شكلا ١٩٣ و ١٩٤) :

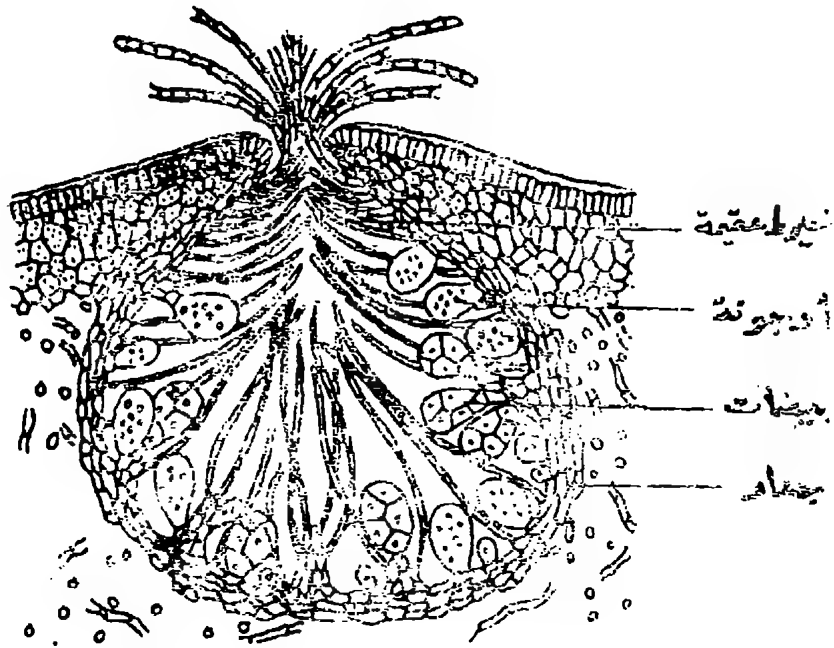
١- نسيج تمثيل (Assimilating tissue)

خارجي ، تكون خلاياه غنية بالبلاستيدات الخضراء .

٢- نسيج تخزيني (Storage tissue)

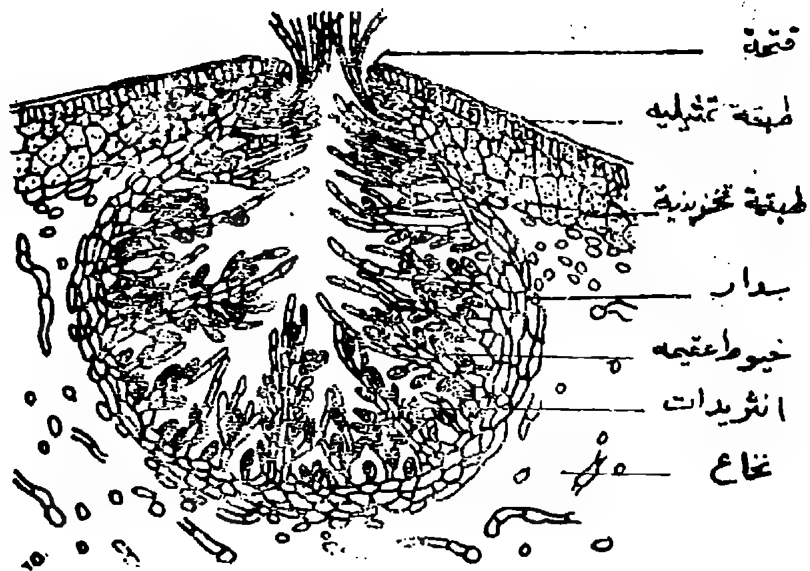
تمتاز خلاياه بوفرة المواد الغذائية المخدرة على هيئة أجسام شديدة اللعان .

(شكل ١٩٣)



قطاع في الحافظة الجنسية الانثوية لنبات الفيوكاس

(شكل ١٩٤)



قطاع في الحافظة الجنسية الذكرية لنبات الفيوكاس

وتوجد الأعضاء الجنسية - من أنثريدات وأوجونات - داخل تجاويف خاصة قارورية الشكل تعرف بالحوافظ الجنسية (Conceptacles) ، وفي الأنواع وحيدة المسكن توجد الأنثريدات والأوجونات في نفس الحافظة الجنسية . أما في الأنواع ثنائية المسكن فتوجد الأعضاء الجنسية الذكرية والأنثوية في حوافظ جنسية منفصلة . وتحتوى الحافظة الجنسية الأنثوية (شكل ١٩٣) على عدد من الأوجونات المعنقة توجد بينها خيوط عقيمة (Paraphyses) غير متفرعة ، وتنقسم كل أوجونة (Oogonium) لتعطي ثمانى بيضات ، ويحدث انقسام اختزالي عند تكوين هذه البيضات . أما الحافظة الجنسية الذكرية فتحتوى على عدد كبير من الخيوط العقيمة المتفرعة ، تنتظم عليها الأنثريدات كفروع جانبية ، وتنقسم محتويات كل أنثريدة إلى عدد كبير من السباحات الذكرية ثنائية الأهداب ، ويحدث انقسام اختزالي عند تكوين هذه السباحات ، وحدوث انقسام اختزالي عند تكوين الأمشاج الجنسية بعد شاذاً بين النباتات ويشابه تماماً ما يحدث في الحيوان . ولا يحدث الإخصاب داخل الحوافظ الجنسية ، بل تتحرر الأمشاج - من سباحات ذكرية وبيضات - إلى الماء الخارجى ، حيث تجذب كل بيضة عدداً كبيراً من السباحات الذكرية ، التى تحيط بها وتسبب دورانها نتيجة للتنافس بينها اكى تنفذ إلى داخلها ، ولا تنجح فى إتمام عملية الإخصاب سوى سباحة ذكرية واحدة ، أما ما عداها من سباحات فيكون مآلها الفناء ، وتنمو اللاقحة لتعطي طحلباً جديداً . ويرى فى (شكل ١٩٥) ما يخص الدورة حياة الفيوكاس .

الفوائد الاقتصادية للطحالب

تعيش الطحالب فى المحيطات والبحيرات والبرك ومجارى المياه ، وتتغذى عليها الحيوانات الدقيقة التى تلتهمها الأسماك ، ولذلك تعد الطحالب بمثابة القاعدة الأساسية فى السلسلة الغذائية للأحياء البحرية ، تلك الأحياء التى لا تستطيع محاكاة الطحالب فى بناء ما يلزمها من مواد غذائية معقدة من خامات بسيطة ، كما تقوم الطحالب بدور على أكبر جانب من الأهمية

في العمل على حفظ التوازن بين النبات والحيوان في البيئة المائية . وذلك بفضل ما ينتج عما تقوم به في عملية البناء الضوئي من امتصاص ثاني أكسيد الكربون وإخراج الأكسجين .

وقد دخلت الطحالب حديثاً سفن الفضاء ، واستخدمت لتكوين المواد الغذائية والتخلص من غاز ثاني أكسيد الكربون المتصاعد من تنفس الإنسان أو الحيوان المسافر على سفينة الفضاء ، وإخراج الأكسجين باستمرار لمواصلة التنفس والحياة .

ويمكن تلخيص الفوائد الأخرى للطحالب فيما يأتي :

تثبيت النيتروجين : تلعب بعض الطحالب دوراً هاماً في زيادة خصوبة التربة ، فبعضها يستطيع أن يثبت النيتروجين الجوي — مثلها في ذلك كمثل البكتيريا المثبتة للنيتروجين — وتجعله يتحد مع الأكسجين لتكوين مواد نيتروجينية غير عضوية تستطيع النباتات أن تستغلها كمصادر غذائية . وفي اليابان تستغل بعض هذه الطحالب للعمل على زيادة المحتويات النيتروجينية للتربة المعدة لزراعة الأرز ، حيث تلقح التربة بمثل هذه الطحالب المثبتة للنيتروجين الجوي لتزيد من المحتويات النيتروجينية لحقول الأرز ، وتسمى هذه الطحالب عادة إلى طائفة الطحالب الخضراء المزرقة كـ بعض أنواع النوستوك (Nostoc) والكالوثريكس (Calothrix) . وتلعب طحالب أخرى دوراً غير مباشر في زيادة المحتويات النيتروجينية للتربة ، إذ تكون مغطاة بغشاء هلامي غليظ له القدرة على امتصاص الرطوبة الجوية ، فتعمل بذلك على إمداد ما يجاورها في التربة من بكتيريا مثبتة للنيتروجين باحتياجاتها المائية وتحملها من الجفاف ، كما تزودها بمصدر كربوإيدراتي للطاقة .

بناء الفيتامينات : الصبغ الأصفر الموجود في غالبية الطحالب — وهو الكاروتين — يعد الموالد لفيتامين (أ) أو الفيتامين المضاد لمرض جفاف العين ، وتستطيع بعض الطحالب بناء فيتامين (د) وهو الفيتامين الواقي من الكساح . كما تحتوي بعض الطحالب الخضراء على كميات ملموسة من فيتامين (ب) (الفيتامين المضاد لمرض البري بري) وفيتامين (ج)

وفيتامين (ك) (وهو الفيتامين المضاد لنزف الدم) . ولما كانت الطحالب تستغل كغذاء للأسماك : فإن هذه الفيتامينات تخزن في أعضائها ، إما ليستغلها الإنسان مباشرة كمصدر غذائي غنى بالفيتامينات وإما ليستخدمها بعد استخراجها من الأسماك .

الطحالب كغذاء : تستعمل بعض الطحالب الحمر والبنية كغذاء للإنسان ، وهى تباع في اليابان تحت اسم كومبو (Kombu) . وقد ازداد الاهتمام حديثاً باستغلال الطاقة الإنزيمية لبعض الطحالب الدقيقة وحيدة الخلية لا سيما الطحلب الأخضر المعروف علمياً باسم كلوريللا (Chlorella) ، لتحضير ما يحتاجه الإنسان والحيوان من غذاء ، إذ تستطيع مثل هذه الطحالب إذا نمت على منابت رخيصة مناسبة وتحت ظروف خاصة أن تهيء مصدراً غذائياً غنياً بالبروتين يشتمل على جميع الأحماض الأمينية اللازمة لنمو الإنسان والحيوان . كما تستطيع أن تهيء مصدراً غنياً بالدهون والكربوهيدرات .

وفي عام ١٩٤٩ قلدر « حافرون » المحصول السنوى لمزرعة مائية مساحتها فدان واحد بخمسين طناً من الوزن الجاف لطحلب « الكلوريللا » ، نصفها بروتين ، ومز الدهون ١٠ ٪ ، ومن « فيتامين أ » (٥٠٠٠ وحدة /جم) ، ومثلها من « فيتامين ج » ، ومن حمض الفوليك المضاد للكساح (٤٨٥ وحدة /جم) . (وهذا بطبيعة الحال محصول يزيد عدة أضعاف عن أى محصول زراعى معروف ، مما يجعل من استزراع الطحالب مشروعاً اقتصادياً مربحاً تخطط من أجله البرامج وترصد الأموال .

الاستغلالات الطبية : قبل اكتشاف ما عرف حالياً من عقاقير طبية كانت تستغل الطحالب لعلاج بعض الأمراض الإنسانية ، ومن أمثلة ذلك استغلال الطحلب البنى « سرجاسم » (Sargassum) لمعالجة مرض الجويتر وغيره من أمراض الاختلالات الغدية ، واستعمال الطحلب الأحمر « جليديم » (Gelidium) لعلاج الاختلالات المعوية والأمراض الراقعة لدرجة

الحرارة . وما زال الكثير من هذه العقاقير الطحلبية مستغلة لأغراض طبية .
فيستخلص من الطحالب الأحمر « ديجينيا سيمبلكس » (*Digenia simplex*)
عقار « الهامينول » الطارد للديدان المعوية . ويستخدم طحالب « سرجامم
اينفوليام » (*Sargassum linfolium*) في الهند لعلاج اضطرابات المثانة
والأمراض الكلوية : وفي الصين يستعمل الطحالب البني « لاميناريا براكتياتا »
(*Laminaria bracteata*) - على هيئة محلول لزج يعرف باسم « كوانبو
(*Kwanpu*) - لعلاج ما يحدث للنساء من اضطرابات طمثية .

ولعل أهم الاستغلالات الطبية للطحالب البحرية حالياً هو استغلال البعض
منها - والتي تعرف باسم « الطحالب الأجارية » (*Agarophytes*) - لإنتاج
مادة الأجار (*Agar*) ، وهي مادة معروفة طبياً لأهميتها البالغة في تزييع
البكتيريا والفطريات ، كما تستغل في غير ذلك من أغراض . ولفظ آجار
مشتق من كلمة كان يستعملها أهل الملايو بمعنى هلام ، وكانوا يطلقونها
على الهلام الذي يحضرونه بغلي بعض الطحالب البحرية وتبريد السائل الناتج .
ويتميز الأجار بسيولته عند التسخين وتصلبه عند التبريد ، ومن ثم فهو
يضاف على المنابت الغذائية - التي تستغل لإتلاء الفطريات والبكتيريا - خاصة
التصلب بعد التعقيم ، وهذه المنابت الغذائية - المتصلبة بالأجار - تعمل
على تيسير دراسة الخواص الفسيولوجية والبيوكيميائية لكل من البكتيريا
والفطريات ، وساعدت على التعرف تصنيفياً على ما يسبب منها الأمراض
لكل من النبات والحيوان والإنسان .

وبعد عام ١٨٨١ ميلادية بالذات من أبرز الأعوام لتبيان الأهمية الطبية
للأجار ، إذ أوضح « روبرت كوخ » أهميته في إمكانية تزييع البكتيريا
المسببة للأمراض ، ثم امتدت استغلالاته بعد ذلك لتشمل الكثير من الصناعات
فهو يستغل حالياً - بديلاً للجيلاتين - كمضاد للجفاف في الخبز والجাতوهات
وفي تحسين خواص الأنواع المختلفة من الأجبان ، وفي صناعة المنتجات اللبنية
المحملة وتعليب اللحوم والأسماك ، وكما أنه لاصقة في صناعة المنسوجات
والأوراق ، وغيرها من صناعات .

وقد أمكن حتى الآن تحضير الأجار من بعض أنواع الطحالب الحمر التابعة للأجناس الآتية : « جليديم » (Gelidium) وجراسيلاريا (Gracilaria) وهيبنيا (Hypnea) وجيجارتبنا (Gigartina) وبثروكلاديا (Pterocladia) .

ومن الاستغلالات الطبية الأخرى قدرة بعض الطحالب على إنتاج مضادات حيوية أو أحماض دهنية غير مشبعة ذات تأثير قاتل على بعض الميكروبات البكتيرية ، وهي قدرة ذات أهمية بيئية من حيث تنافس انطحالب على النمو مع غيرها من كائنات . ومن أمثلة هذه المضادات الحيوية « السارجالين » ومشتقات البروم الفينولية المستخلصة من بعض الطحالب البحرية ، والكلوريللين (Chlorellin) الذي يخلقه الطحلب الأخضر الوحيد الخلية - وهو طحلب « الكلوريللا » (Chlorella) - مما في المنبت الذي ينمو عليه من مواد غذائية ، وتستغل ظاهرة التنافس بين الطحالب والبكتيريا لتنقية مياه المجارى والمستنقعات مما يلوثها من كائنات بكتيرية .

الألجينات (Alginates) : الألجينات هي لفظ عام للدلالة على أملاح حمض الألجنيك (Alginic acid) ، الذي يوجد بكثرة ملحوظة في أفراد رتبة « اللاميناريات » (Laminariales) وغيرها من رتب الطحالب البنية . وتتراوح كميته في هذه الطحالب بين ١٥ ٪ و ٤٠ ٪ . إلا أن هذه النسبة تتعرض لتذبذبات موسمية ، فتصل إلى ذروتها في الخريف وتبسط في الربيع كما تتأثر بطبيعة الوسط المائي وبعمق الانغمار . وتعد الألجينات من بين انغروانيات الطحلبية (Phycocolloids) ، ولها القدرة على أن تمتص من الماء ٣٠٠ مرة قدر وزنها ، كما أنها تذوب في الماء لتعطى محاليل ثخينة تتميز بشدة لزوجتها ، ولذلك تستعمل في الطباعة وصناعة النسيج . وفي اليابان يدخل حمض الألجنيك - المستخلص من طحلب « السارجاسم » - في صناعة الحرير الصناعي ، وتمتاز الأقمشة المنسوجة من الألجينات بعدم احتياجها إلى عملية صباغة ، نظراً لكونها ملونة طبيعياً ، فألجينات النحاس تكون خضراء اللون وألجينات الكوبلت حمراء وألجينات الكروم زرقاء .

ولما كان الألبين خواص ملحوظة من حيث قدرته على امتصاص الماء ، فإنه يستغل في كثير من الصناعات كمادة مغلظة أو معاتمة أو مثبتة أو مستحلبة أو مكونة لـ هلام ، ومن ثم فيستعمل في صناعة المثلجات والطلاءات والدهانات كما يستعمل صيدلانياً في تحضير العقاقير والمضادات الحيوية ، ويستعمل كمروّب للنبات في صناعة المطاط وفي طباعة المنسوجات .

دباغيات طحلبية (Algal tannins) : تظهر بعض الطحالب البنية استجابة لونية قوية مع أملاح الحديد . مما يدل على وجود مواد دباغية ويستعمل المستخلص المائي للطحلب البني (سارجاسم رينججولدانيوم) (*Sargassum ringgoldianum*) في صناعة دباغة الجلود باليابان حيث تحتزن الدباغيات بحجم الطحلب في حويصلات خاصة تعرف باسم « الحويصلات الدباغية » (*Physodes*) كما وجدت مادة دباغية في الطحلب الأخضر سبيروجيرا أركتا (*Spirogyra arcta*) . ويختلف التركيب الكيميائي لهذه المواد الدباغية باختلاف الطحالب المنتجة لها .

الطحالب كسماد بوتاسي : تستطيع غالبية الطحالب تجميع البوتاسيوم بداخلها بتركيزات تبلغ عشرين إلى ثلاثين مرة مثيلاتها في مياه البحر المجاورة ويكون البوتاسيوم عادة في صورة كلوريد البوتاسيوم ، ونظراً لوفرة أملاح البوتاسيوم في كثير من الطحالب البنية والحمراء فإنها تستغل في بعض البلاد على نطاق واسع كمخصبات للتربة ، ففرنسا تستعمل مثلاً حوالي ثلاثة ملايين طن سنوياً من هذه الطحالب كمخصبات .

الطحالب كمصدر لليود : ومن مظاهر تجميع الطحالب للعناصر الموجودة في مياه البحر تجميع اليود . فيستطيع الطحلب البني « لاميناريا » (*Laminaria*) تركيزه بداخله إلى ٣٠٠٠٠ مرة من تركيزه في مياه البحر علماً بأن تركيزه في هذه المياه يتراوح ما بين ٠.٣ و - و ٠.٧ و ٠ جزء في المليون . وكذلك تستطيع بعض الطحالب الخضراء والحمراء ، ويبلغ تركيزه في اللاميناريا حداً

يمكن معه الشعور بتطايير اليود أثناء انخفاض الجزر ، كما تعد الطحالب بمثابة مصادر للبروم .

الفوائد الاقتصادية للديانومات : لما كانت المديانومات - أو الطحالب اعصوية - متضمنة في الطحالب بوجه عام . فلا بد أن تؤخذ فوائدها الاقتصادية كذلك في الاعتبار ، وقد سبق أن أشرنا إليها في موضع سابق من هذا الباب .

الباب السابع عشر

الفطريات الحقيقية

تعد الفطريات الحقيقية (True fungi) كالطحالب من حيث مدى التركيب الخضرى ، فتكون وحيدة الخلية أو خيطية أو تشابك خيوطها لتكوين تراكيب خلوية ، إلا أنها تختلف عن الطحالب اختلافاً جوهرياً من حيث خلوها من البلاستيدات الخضر ، ولذلك فلا تستطيع أن تعيش كالطحالب مستقلة ومعتمدة على نفسها لاستيفاء احتياجاتها الغذائية ، بل لابد لها أن تعتمد في معيشتها على غيرها من الكائنات الراقية . وتتكون الفطريات من خيوط مجهرية تعرف بالخيطوط الفطرية (Hyphae) ، قد تكون مقسمة إلى خلايا أو غير مقسمة ، وتأخذ هذه الخيوط في التفرع والتداخل لتكون غزلاً ظاهراً للعين المجردة يسمى الغزل الفطرى (Mycelium) . وتشبه خلايا الفطريات مثيلاتها في الكائنات الراقية من حيث المظهر العام ، فلكل خلية جدار ، إلا أن التركيب الكيميائى لجدار الخلية الفطرية يختلف عن مثيله في النباتات الراقية ، فهو نوع آخر من السيلولوز يحتوى على عنصر النيتروجين ويسمى بالسيلولوز الفطرى ، ويشبه تماماً من حيث التركيب كيتين (Chitin) الحشرات . ويوجد البروتوبلازم داخل الجدار محتوياً على نواة أو أكثر وعلى مواد غذائية مخزنة على هيئة حبيبات أو فجوات .

وتختلف ماهية المواد الغذائية عن مثيلاتها في النباتات الراقية ، فبينما يكون الجلوكوز والفركتوز أكثر السكريات الأحادية شيوعاً في النباتات الراقية نجد أن هذين السكرين لا يوجدان في الفطريات إلا بكميات ضئيلة للغاية ، ويقوم مقامهما سكر آخر أحادى يعرف بسكر المانيتول (Mannitol) وتركيبه الكيميائى هو (كـ ١٠ يـ ١٠ هـ ١٠) ، أما فيما يختص بالسكريات الثنائية فلا يوجد سكر قصب (Sucrose) في الفطريات ، بل يحل محله سكر ثنائى

آخر يعرف بالترهالوز (Trehalose) ، وأكبر الفروق بين الفطريات والنباتات الراقية هو في عديد التسكر « النشا » ، إذ لا يوجد الأخير على الإطلاق في الفطريات ويحل محله النشا الحيواني أو الجليكوجين (Glycogen) ، والدهون والأحماض العضوية كثيرة الانتشار في الفطريات . أما فيما يختص بالمواد الملونة فالفطريات خالية تماماً من البلاستيدات الخضراء والأنثوسيانين (Anthocyanin) ولكن يكثر وجود الكاروتين (Carotene) . ويكون الماء الجزء الأكبر من الثالوس الفطري . فهو يكون حوالي ٩٨ ٪ من وزن الفطريات الهلامية . إلا أن نسبة الماء في الفطريات الجافة أقل من ذلك . وتحليل الرماد المتخلف عن الثالوس الفطري يبين وجود العناصر الآتية : الكربون ، النيتروجين ، الأيدروجين ، الأكسجين ، الكبريت ، الفوسفور البوتاسيوم ، الماغنسيوم والحديد . وتوجد هذه العناصر في جميع الفطريات وتدخل في تركيب البروتينات . وقد توجد عناصر أخرى مثل الكلور والمنجنيز والصوديوم واليود وغيرها .

وتوجد الفطريات منتشرة في التربة ومنتشرة في الهواء وتعيش قلة منها في الماء . ولما كانت الفطريات خالية تماماً من البلاستيدات الخضراء ، التي تستطيع بها غيرها من النباتات تثبيت غاز ثاني أكسيد الكربون الجوي وتكوين الكربوهيدرات ، فإنها تعجز عن أن تعيش مستقلة بذاتها ، ولابد لها من الاعتماد على غيرها من كائنات حية أو مواد عضوية ميتة لاستيفاء احتياجاتها . وتعرف الفطريات التي تعتمد على كائنات حية بالفطريات المتطفلة (Parasitic fungi) والتي تعتمد على مواد عضوية ميتة بالفطريات المترمة (Saprophytic fungi) . ومن الفطريات ما نستوفي احتياجاتها الغذائية بأن تلتهم معيشة تكافئية - أو تبادل منفعة - مع غيرها من الكائنات الحية ، وتعرف بالفطريات المتكافلة (Symbiotic fungi) ، ومن ثم فيمكن تمييز مناهج الحياة الآتية بين الفطريات :

١ - طفيليات إجبارية (Obligate parasites) : لا تستطيع أن تعيش

إلا متطفلة على كائنات حية ، لا سيما النباتات ، مثل الفطيرة المسببة لمرض البياض الزغى للعنب وفطيرة « صدا القمح » .

٢ - طفيليات إختيارية (Facultative parasites) : تعيش عادة مترمة على المواد العضوية في التربة ، ولكن تستطيع أن تنطفل عند وجود عائل يلائمها مثل فطيرة الفيوزاريام (Fusarium) المسببة لمرض ذبول القطن .

٣ - رميات إختيارية (Facultative saprophytes) : تعيش عادة متطفلة ، ولكن تستطيع عند الضرورة أن تعيش مترمة مثل فطريات التفحم

٤ - رميات إجبارية (Obligate saprophytes) : لا تستطيع أن تعيش إلا مترمة على مواد عضوية ميتة مثل فطيرة « العفن الأسود » التي تنمو على الخبز المتعفن .

٥ - فطريات متكافلة (Symbiotic fungi) : تعيش معيشة تكافل أو تبادل منفعة مع غيرها من النباتات كالفطريات الأشنية (Lichen fungi) التي تعيش متكافلة مع الطحالب لتكون نباتات مركبة تعرف بالأشن (Lichens)

وتتطفل الفطريات عادة على النباتات . وقد تنطفل بعضها على أجسام الحشرات مثل دودة القز والذباب فتوردها موارد الهلاك ، أما تطفلها على الإنسان فمن الندرة بمكان ، إلا أن بعض الأمراض الجلدية مثل مرض القراع العسلي يحدث بسبب إصابة جلد الرأس بنوع من الفطر الطفيلي المعروف علمياً باسم جنس « ترايكوفيتون » (Trichophyton) ، كما أن هناك بعض أمراض جلدية تسببها أنواع من فطريات الخميرة الخيطية .

ويرجع هذا التنوع في مناهج حياة الفطريات إلى قدرتها على إفراز كثير من الإنزيمات ، يختلف عددها وأنواعها باختلاف البيئات . وتهدف القدرة الإنزيمية في الفطريات المترمة نحو تكسير المواد العضوية المعقدة - التي تعجز عن هضمها - إلى مواد بسيطة تستطيع أن تمتصها وتستغلها استغلالاً مباشراً . كما أن هناك من الإنزيمات ما تعمل على تكوين مواد معقدة مما في منابتها من

مكونات غذائية بسيطة ، وبين أمثلة هذه المواد المعقدة الفيتامينات والمضادات الحيوية ، أما الفيتامينات فتستغلها كمكونات لمرافقاتها الإنزيمية ، وأما المضادات الحيوية فلمحاربة غيرها من كائنات لفائدتها الذاتية . وتنفرد الفطريات المتطفلة بإفراز إنزيم خاص يعرف بالبكتينيز (Pectinase) له القدرة على تكسير مادة الصفيحة الوسطى (Middle lamella) لجدر خلايا العائل وإذابتها ، فيعمل هذا الإنزيم على تمزيق أنسجة العائل وتفكيكها ويهيئ للفطر سبيلا لينفذ إلى داخلها ويتعمق في خلاياها .

ويجربى تقسم الفطريات بحسب انقسام الحيط الفطرى أو عدم انقسامه : وبحسب أنواع الجراثيم الجنسية (Sexual spores) المتكونة - ما إذا كانت جراثيم زقية (Ascospores) أو بازيدية (Basidiospores) - إلى المجموعات الأربع الآتية :

١ - فطريات طحلبية (Phycomycetes) : وفيها يكون الغزل الفطرى عادة غير مقسم .

٢ - فطريات زقية (Ascomycetes) : وتمتاز بانقسام غزلها الفطرى بجدر مستعرضة وتولد جراثيمها الزقية (Ascospores) داخل كيس خاص يسمى الزق .

٣ - فطريات بازيدية (Basidiomycetes) : وتمتاز بانقسام غزلها الفطرى بجدر مستعرضة وتولد جراثيمها البازيدية (Basidiospores) خارج تركيب خاص صولحان الشكل يعرف بالبازيديوم (Basidium) .

٤ - فطريات ناقصة (Deuteromycetes) : وهى مقسمة داخليا بجدر مستعرضة ، إلا أنها عديمة الجراثيم سواء زقية أو بازيدية ، ولا يعرف فيها أى نوع من التناسل الجنسى .

الفطريات الطحلبية

تمتاز الفطريات الطحلبية (Phycomycetes) بخلو غزلها الفطرى من الجدر المستعرضة ، وتحتوى على عدة أنواع ، منها ما يعيش مترما فى الماء

على بقايا المواد العضوية كفطرة عفن الماء ، ومنها ما يعيش في التربة مترمما على المواد العضوية - من المخلفات النباتية والحيوانية - مثل فطرة العفن الأسود المعروفة علمياً باسم «رايزوبس نيجريكانس» (*Rhizopus nigricans*) ، ومنها ما يعيش متطفلاً فيسبب للنباتات أخطر الأمراض. وتنقسم طائفة (Class) الفطريات الطحلبية إلى تحت طوائف أو طويئفات (Sub-classes) حسب المميزات الشكلية للأعضاء الجنسية، ما إذا كانت متميزة شكلياً إلى حوافظ مشيجية ذكورية أو أنثريدات (*Antheridia*) وحوافظ مشيجية أنثوية أو أوجونات (*Oogonia*) ، أو كانت الحافظتان المشيجيتان المتزاوجتان متشابهتين ، ومن ثم تحوى الفطريات الطحلبية على الطويئفتين الرئيسيتين الآتيتين :

(أ) فطريات بيضية (*Oomycetes*) : وفيها تكون الأعضاء الجنسية متميزة شكلياً إلى أنثريدات وأوجونات ، وتحتوى الأوجونة على بيضة واحدة . ويتم الإخصاب باقتراب الأنثريدة من الأوجونة والاتصاق بها ، وبرز أنبوبة إخصاب من الأنثريدة تخترق جدار الأوجونة حتى تصل إلى البيضة فتخصبها . وسندرس كمثل لها فطرنا «الألوجو» (*Albugo*) والبلازموبارا (*Plasmopara*) .

(ب) فطريات تزاوجية (*Zygomycetes*) : وفيها تكون الأعضاء الجنسية غير متميزة شكلياً ، ويتم الإخصاب بين حافظتين مشيجيتين متشابهتين ، كما في فطرة «عفن الخبز» (*Rhizopus*) .

والأجناس التي تنتمي إلى الفطريات التزاوجية تعرف عادة بفطريات العفن (*Mould fungi*) . وتعيش غالباً مترمة على البقايا العضوية النباتية والحيوانية .

أما الأجناس التي تنتمي إلى الفطريات البيضية فتكون عادة إجبارية التطفل ، بمعنى أنها لا تستطيع أن تعيش بعيداً عن عوائلها النباتية الحية ، وتتميز فطرة «الألوجو» عن «البلازموبارا» في طريقة انتظام الحوامل

الحافظة (Sporangiophores) . وهي الحوامل التي تنظم عليها الوحدات الالاجنسية . فهي هوائية -- خارج بشرة النبات العائل -- في جنس « البلازموبارا » بينما في الألبوجو تكون تحت بشرية (Subepidermal) .

وتسبب فطرة « الألبوجو » مرضا يصيب الكثير من النباتات ، ويعرف بمرض الصدأ الأبيض . أما فطرة « البلازموبارا » فمنها نوع يسمى « البلازموبارا فيتيكولا » (*Plasmopara viticola*) ويعد من أخطر الأنواع إذ يسبب مرض الياض الزغبي (Downy mildew) للأعناق ، وسنتحدث بالتفصيل عن كل واحدة من هذه الفطر الثلاث .

البوجو

يسبب الألبوجو (*Albugo*) مرضا فطريا للنبات يعرف بمرض الصدأ الأبيض (White rust) . وترجع هذه التسمية لمشابهته لمرض الصدأ العادي المعروف في القمح من حيث تكوين الجراثيم في ثمرات ، ومن حيث انتظامها في سلاسل بطريقة مشابهة للجراثيم الأسيدية . مما سيأتي شرحه فيما بعد . وبحسب النبات العائل الذي تنطفل عليه الفطرة ، تقسم الأخيرة إلى عدة أنواع ، فمن أنواعها ما يصيب أفراد الفصيلة الصليبية (*Cruciferae*) - كالفجل واللفت ونبات الخردل - ويعرف علميا باسم « البوجو كانديدا » (*Albugo candida*) . ومنها نوع يصيب نبات الزجالة (*Portulaca sp.*) ويعرف علميا باسم « البوجو بورتولاكى » (*Albugo portulacae*) ، ويعد أكثر أنواع الألبوجو شيوعا في مصر ، إلا أن المرض المسبب عنه قليل الأهمية من الوجهة الاقتصادية لأن الزجالة محصول ثانوى ، كما أن هناك أنواعا أخرى من الفطرة تصيب أفراد الفصيلتين العلاقية (*Convolvulaceae*) والمركبة (*Compositae*) .

وتتمثل الأعراض الخارجية للمرض في ظهور ثمرات بيضاء لامعة تشبه الشمع على السيقان والأوراق ، وأحيانا على الثمار ، ويسبب ذلك تشوها

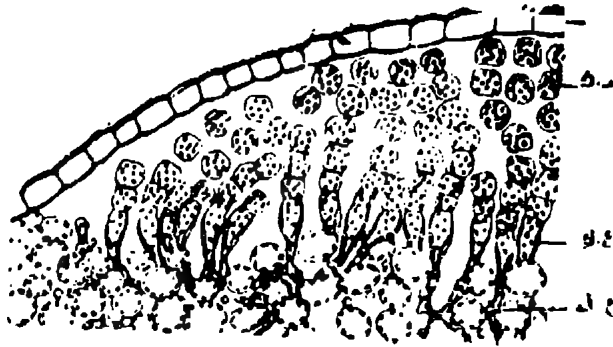
للشماريخ الزهرية والثمار . ويوجد الغزل الفطاري في المسافات البينية لخلايا العائل ويرسل إلى داخل الخلايا ممصات (Haustoria) كثيرة . صغيرة ومستديرة : لاستدراار احتياجاته من المواد الغذائية .

التناسل اللاجنسى :

بعد فترة من نمى الفطرية داخل النبات . تكون أثناءها قد انتفخت الكثير مما بداخله من غذاء ، تبدأ في التناسل لاجنسياً بإنتاج وحدات خاصة تستطيع بها إصابة نباتات عوائل جديدة .

فيأخذ الغزل الفطاري- الذى يقع تحت خلايا

(شكل ١٩٦)



تقاطع مستعرض في سات معصاب . مطرة الألبوجو بين الحيوط الفطرية (ح - ف) بين خلايا العائل ، والمائل الكونيدى (ح - ك) على الخرائيم الكونيدية (ح - ك) ، وترى بشرة العائل (ب) آخذة في الارتفاع نتيجة لاستغلال المائل والخرائيم الكونيدية (ع - سميت) .

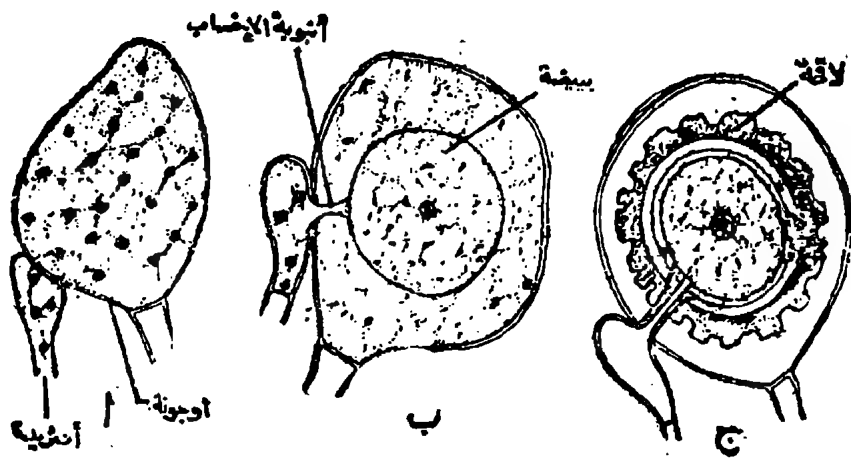
البشرة مباشرة في التفرع والتجمع . ومن ثم يعطى صفوفاً متراسة من حوامل حافظة (Sporangiophores) صولجانية الشكل ، تتجمع تحت البشرة في مستوى عمودى على سطح الورقة ، وينتج عن استطالتها دفع البشرة إلى أعلى وتكوين بقعة بيضاء تبدو على سطح الأوراق والسيقان والأجزاء الزهرية والثمار ، ولا يلبث الحامل الحافظ أن ينتج سلسلة من الحواظ الجرثومية (Sporangia) يقع أكبرها حجماً وأكثرها نضجاً قرب البشرة ، أما أصغرها حجماً وأحدثها عمراً فتستقر عند الطرف غير المنقسم من الحامل الحافظ (شكل ١٩٦) .

وتزداد سلاسل الحواظ الجرثومية استطالة فتسبب تمزق البشرة . وتستمر الحواظ في التخصص حتى تنفصل عن السلسلة التي تنظم فيها انفصالاً تاماً . وتنتشر بواسطة الرياح أو غيرها من وسائل آلية لتصيب نباتات عوائل جديدة .

وتتوقف طريقة إنبات الوحدة اللاجنسية على العائل الجديد على الظروف البيئية الغالبة ، فإذا ما ابتلت بالندى أو المطر أصبحت حافظة جرثومية وانقسمت محتوياتها الداخلية. وأنتجت جراثيم سابحة يصل عددها إلى حوالى اثنتى عشرة جرثومة أو أكثر ، لكل منها هذبان جانبيان ، وتسبح الجرثومة فى الماء لفترة وجيزة ثم تستقر وتكون حوصلة (Cyst) . ثم تنبت الأخيرة لتعطى أنبوبة إنبات تتخذ طريقها خلال أحد الثغور إلى داخل النبات ، أما فى حالة الجفاف فتتخذ هذه الوحدات اللاجنسية مسلكاً مختلفاً ، إذ تنبت مباشرة - دون انقسام داخلى وإنتاج جراثيم سابحة - لتعطى كل واحدة منها أنبوبة إنبات ، وتعرف الوحدة اللاجنسية فى مثل هذه الحالة بالكونيدة (Conidium) ، ويعرف الحامل بالحامل الكونيدى (Conidiophore) .

التناسل الجنسى : وعندما تبدأ أنسجة النبات العائل فى الموت ، تستجيب لها الفطرة بتكوين أعضاء جنسية من أنثريدات وأوجونات (شكل ١٩٧) توجد متعمقة داخل أنسجة النبات ، أما الأوجونة فلا تحتوى إلا على بيضة واحدة ، ولا تنتج الأنثريدة سابحات ذكورية بل تعطى أنبوبة لإخصاب (Fertilization tube) تخترق جدار الأوجونة ، وتصل عن طريقها أنوية

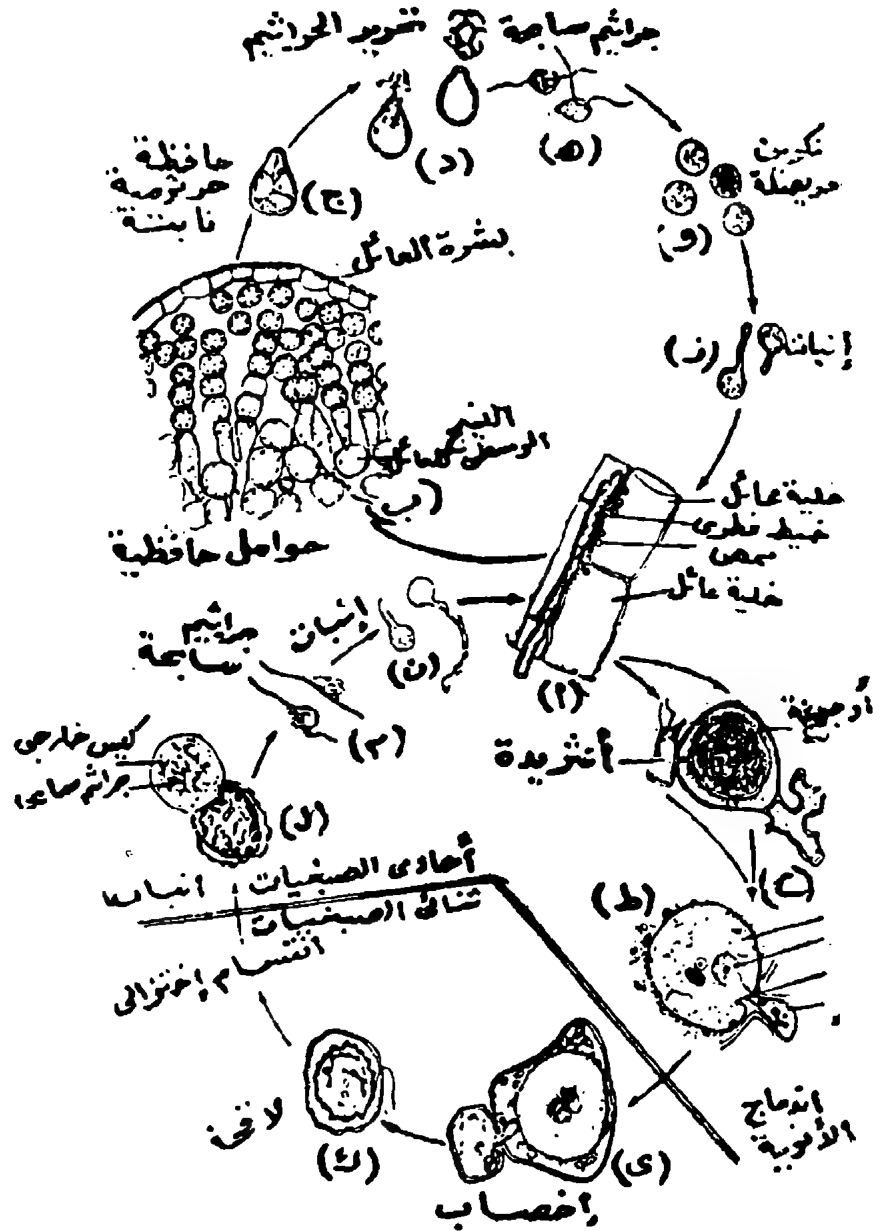
(شكل ١٩٧)



طريقة التناسل الجنسى لفطرة الألبوجو: (١) تميز الأعضاء الجنسية للأنثريدة وأوجونة،
(-) تكوين البيضة داخل الأوجونة وإنباق أنبوبة الإخصاب من الأنثريدة مخترقة الجدار
الأرجونى حتى تصل إلى البيضة، (ج) إتمام الإخصاب وتكوين الملاحقة (من سميت) .

الأثر زيادة لتخصب البيضة . وتحاط البيضة المخصبة - أو اللاقحة - بجدار غليظ ذي لون بني قاتم . وتستطيع وهي على هذا الحال أن تقاوم كل الظروف غير الملائمة التي قد تتعرض لها الفطرة .

(شكل ١٩٨)



ملخص دورة حياة فطرة الألبوجو : (١) نمو الفطرة داخل الدائل ، (ب) إنتاج الموامل المانظية ، (ج - ر) نحرر المعلقة الجرثومية وانقسامها ونحوها ونحوها الجراثيم الساجنة الناتجة وإنباتها تنصب الدائل ، (ح - ك) التناسل الجنسي ، (ل - ن) إناث اللاقحة وإنتاج جراثيم ساجنة (عن الكسويولوس) .

وتتحرر اللاقحة بعد انحلال أنسجة النبات العائل (Host plant) ، ثم تمر بفترة سكون ، حتى إذا ما تهيأت لها الظروف المواتية انفجرت مفتوحة ومنتجة كيساً خارجياً يحتوي على عدد كبير من الجراثيم السابحة ثنائية الأهداب الجانبية : قد يزيد عددها في الكيس الواحد على المائة : نستطيع كل جرثومة منها أن تلبث وتبدأ إصابة جديدة ، وبين (شكل ١٩٨) ملخص دورة حياة فطرة الألبوجو .

مرض البياض الزغبي للعنب

يسبب مرض البياض الزغبي (Downy mildew) للعنب عن الإصابة بفطرة « بلازموبارا فيتيكولا » (*Plasmopara viticola*) ، وتظهر أعراض المرض في باكورة فصل الصيف على هيئة بقع صفراء باهتة غير منتظمة على الأوراق ، قد تمتد لتشمل أيضاً الأعناق والثمار . ولا تلبث هذه البقع أن تتخذ لوناً بنياً نظراً لموت خلايا النبات العائل . وينتج عن الإصابة بالمرض جفاف الأوراق وسقوطها ، وعجز الأوراق المصابة عن القيام بوظيفة البناء الضوئي مما يحول دون استيفاء النبات لاحتياجاته الغذائية ، فلا ينمو بالتالي نمواً طبيعياً وقد يموت النبات العائل إذا كان صغيراً وكانت الإصابة من الخطورة بمكان كما يسبب المرض تساقط الأزهار ، مما يعني نقصاً ملحوظاً في الثمار (وهي الأعناب) ، أما الثمار المصابة فلا يستساغ أكلها ويتعذر بيعها .

ويمتد الغزل الفطري داخل أنسجة العائل لينمو بين الخلايا ، ويرسل بمصبات مستديرة صغيرة إلى داخل الخلايا ذاتها ليمتص ما بداخلها من مواد غذائية ، وهو يمتد إلى سائر أنسجة النبات العائل فيما عدا الخشب ، فإذا ما استنفدت الفطرة ما بداخل أنسجة العائل من مدخرات غذائية ، وبدأت الخلايا تنهك وتفقد حيوتها ، أخذت الفطرة في العمل على تكاثر جيلها خارج أنسجة العائل بطريقة لا جنسية (Asexual) . فأرسلت نخيوط هوائية تتخذ طريقها خلال الثغور إلى الخارج . ثم لا تلبث أن تتحول إلى حوامل حافظة

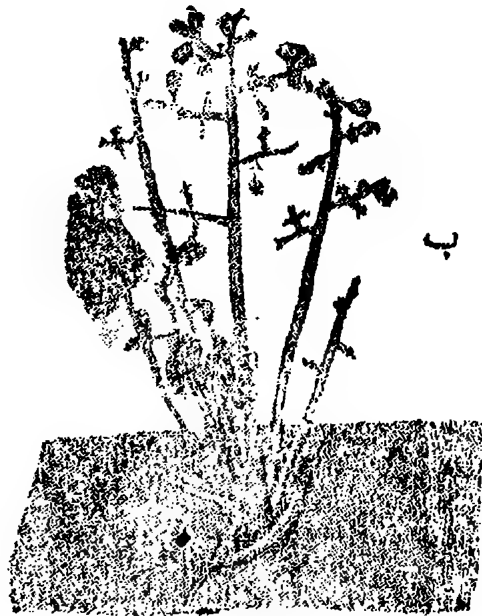
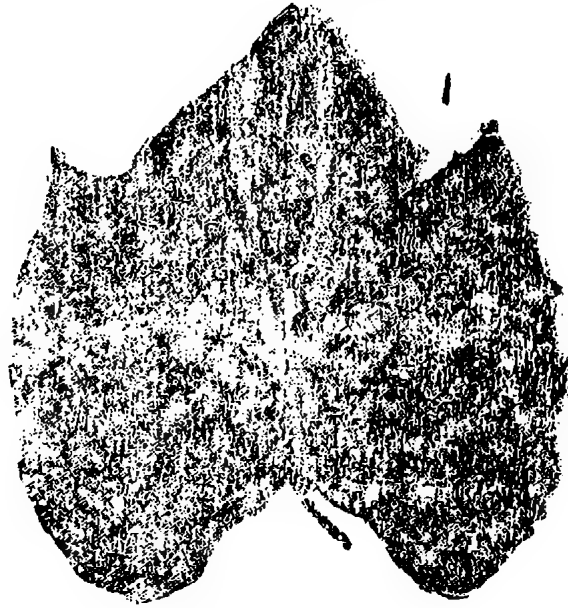
(Sporangophores) ويتكون كل حامل حافظى (شكل ١٩٩ : ب) من محور رئيسى ممتد رأسياً ويتفرع إلى عدة فروع جانبية : وهذه الفروع الجانبية تتفرع بدورها إلى فروع ثانوية صغيرة تحمل عند أطرافها الحوافظ الجرثومية (Sporangia) وتظهر الحوامل الحافظة على السطح الخارجى للنبات نصاب كثيف بيضاء اللون رغبة النمو . ولذلك سمي المرض بالبياض الزغى

وتنتقل هذه الحوافظ الجرثومية بواسطة الرياح أو غيرها من وسائل آلية تنصيب أجزاء جديدة من نفس النبات أو نباتات عوائل جديدة ، وهي لا تستطيع الإنبات إلا فى وجود الماء . فإذا ما تهيأت لها الظروف الرطوبية المناسبة انقسمت محتوياتها إلى عدد من الجراثيم السابحة (Zoospores) الثنائية الأهداب . لا تلبث كل واحدة منها أن تفقد أهدابها وتنبثق منها أنبوبة إنبات تنفذ إلى داخل النبات . إما مخترقة الأدمة أو مجتازة أحد الثغور ، ولما كان وجود الماء ضرورياً لانقسام الحافظة الجرثومية وتكوين الجراثيم السابحة - وهي الوحدات اللازمة لإصابة النبات فإن هذا المرض يكثر وجوده حيث نشد الرطوبة . لا سيما فى الوجه البحرى . وهو ينتشر بسرعة أثناء الجو الرطب . وبعد الموسم الممطر من أنسب المواسم لانتشاره .

ويعمل انتناسل اللاجنسى على انتشار المرض أثناء موسم نمو الأعناب ، حتى إذا ما قارب ذلك الموسم الانتهاء استجابت الفطرة له - للمحافظة على نوعها وضمن تسلسل أجيالها - بتكوين أعضاء جنسية متميزة على الغزل الفطرى المتطفل بين خلايا أنسجة النبات العائل ، وينتج عن التزاوج بين كل أنثريدة وأوجونة تكوين لاقحة أو جرثومة بيضية (Oospore) ، وتتميز هذه الجراثيم البيضية بسمك جدرها وغزارة مدخراتها الغذائية ، وتكون داخل أنسجة الأوراق الميتة وتظل كامنة بداخلها وتسقط على الأرض سقوطها . حيث تمضى فصل الشتاء وتستطيع هذه الجراثيم البيضية الاحتفاظ بحيويتها تحت أقصى "ظ" - "بش" من حر لافح أو برد فارس . مما لا نستطيع أن نتحملها ثم ثم الا جسمية العادية

وتنتج الإصابة في الربيع التالي من الجراثيم البيضوية الكائنة في التربة ،
حيث تستحثها الظروف المواتية على الإنبات . فتبرر منها أنبوبة إنبات تتسع
عند طرفها لتعطي حافظة جرثومية . تنقسم محتوياتها إلى عدد من الجراثيم

(شكل ١٩٩)



مرض الياض الزغبى للعنب: (أ) ورقة عنب مصابة تظهر عليها الأعراض المارحية ، (ب)
الفطر الناتج منه الموامل الحافظة ، ويظهر عليها الحافظة الجرثومية

السابحة ، التي لا تلبث أن تتحرر وتسبح في مياه المطر أو الري لتصل إلى الأجزاء القاعدية للمجموع الخضري والأوراق السفلى . فتنفذ إلى داخلها وتسبب إصابتها . وتتكون ملايين الجراثيم السابحة التي تنتشر بسرعة لتعمل على انتشار المرض .

ويمكننا استنتاج طرق المقاومة والعلاج مما سبق وصفه من أعراض ودورة حياة . وتتلخص فيما يأتي :

١- بما أن تكاثر الأوراق يعمل على تهيئة الظروف الرطوبية المناسبة لانتشار المرض ، فإن تقليم الأوراق يقلل من تكاثرها ، وبالتالي من تهيئة الجو الرطب الذي يساعد على الإصابة .

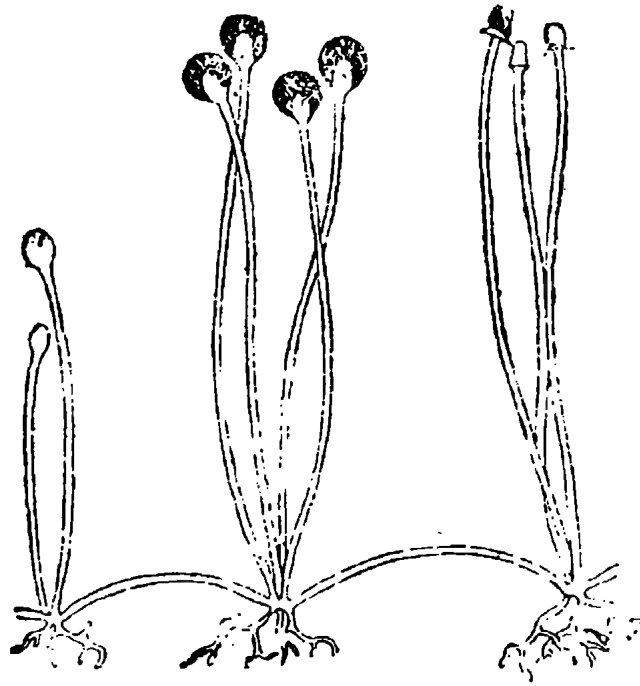
٢- التقاط وإعدام جميع الأوراق المصابة التي تستقر على الأرض لاحتوائها على الجراثيم البيضية للفطرة .

٣- الحيلولة دون الإصابة بالمرض في باكورة الموسم ، وذلك بالرش بمحلول بور دو (محلول مائي يحتوي على كبريتات النحاس والجير الحي) أو بالتعفير بزهر الكبريت .

رايزوبس نيجريكانس

تعد فطرة الرايزوبس نيجريكانس (*Rhizopus nigricans*) مثلاً للفطريات الطحلبية المترمة . وتعرف بفطرة العفن الأسود (Black mould) وتشاهد على الخبز وروث الخيل والمواد العضوية . ويتكون الرايزوبس (شكل ٢٠٠) من رُئد (Stolon) يمتد أفقياً فوق سطح المادة العضوية التي يعيش عليها . ولا يمتد الرئد أفقياً ملامساً الطبقة التحتية عند جميع أجزائها ، بل يكون مقوساً ، وكلما لامسها أرسل أشباه جذور (Rhizoids) تتخللها وتعمق فيها لامتصاص الغذاء ، وتنبثق مقابل كل مجموعة من أشباه الجذور حزمة من الخيوط الهوائية التي تكون فيما بعد الحوامل الحافظة (Sporangiospheres) .

(شكل ٢٠٠)

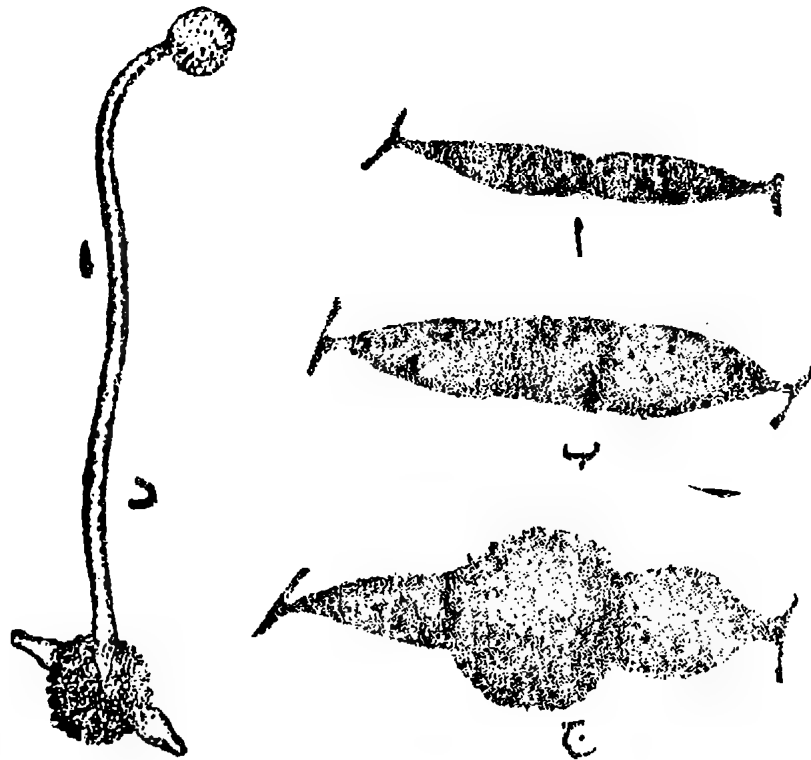


فطرة الرايزوبيس مبنية تركيب النالوس من رند ، منسط ، تخرج منه مجموعات من اشباه
ر تنهال المادة العنبرية وحزم من المواد المماطية تنجح الى اعلى (من سميت) ،

التناسل اللاجنسى : تأخذ الفطرة في التناسل لا جنسياً بعد فترة .
إذ يصبح الجزء الطرفى من المحيط الهوائى غنياً بالسيتوبلازم والأنوية والمواد
الغذائية . وينفصل عن بقية المحيط بجدار مستعرض . وتنقسم محتوياته إلى عدة
جراثيم أو أبواغ حافظة (Sporangiospores) ، ويأخذ الجدار المستعرض في توالى
البروز إلى داخل الحافظة البوغية . (الجرثومية) مكوناً ما يعرف بالعوميد
(Columella) ، وعندما تنضج الجراثيم يستمر العوميد في الانتفاخ مندفعاً إلى
داخل الحافظة البوغية (Sporangium) . ويسبب ذلك ضغطاً على الجراثيم ،
التي تضغط بدورها على جدار الحافظة البوغية ويؤدى ذلك فى النهاية إلى
تمزق جدار الحافظة وتحرر الجراثيم الداخلية ، التي تنتشر بواسطة الهواء أو
غير ذلك من وسائل آلية . فإذا ما استقرت الجرثومة على منبت غذائى مناسب
لإنباتها ، أعطت أنبوبة إنبات تستمر فى تقدمها ونموها لتكون بدورها رثداً
أفقياً وأشباه جذور وحواظ بوغية للقيام بالوظيفة التناسلية اللاجنسية .

التناسل الجنسي : فإذا ما كانت الظروف غير ملائمة لنمو الفطرة أخذت في إعداد نفسها لتناسل جنسي . فيأخذ خيطان متجاوران في تكوين فرعين جانبيين ، يأخذان في التقدم نحو بعضهما البعض حتى يلتقيا (شكل ٢٠١ : أ) ويعرفان بالحوافظ المشيجية الأولية (Progametangia) ، ثم تنقسم كل حافظة مشيجية أولية - بجدار مستعرض - إلى جزء طرفي يأخذ في الانتفاخ ويكون حافظة مشيجية (Gametangium) وإلى جزء يقع تحتهما يعرف بالمعلق (Suspensor) كما في (شكل ٢٠١ : ب) . ثم تتلاشى الحواجز التي تفصل بين الحافظتين المشيجيتين ، وتمتزج المادة البروتوبلازمية فيهما وتكون جرثومة لاقحية (Zygospore) ، وهي ذات جدار شبكي التغلظ كثير

(شكل ٢٠١)



التزاوج الجنسي و فطرة الرايزوبس بين : (أ) الحافظتين المشيجيتين الأوليتين ، (ب) تميز كل حافظة مشيجية أولية إلى معلق وحافظة مشيجية ، (ج) تكوين اللقحة نتيجة اندماج الحافظتين المشيجيتين ، (د) إنبات الجرثومة اللقحة (عن هوبس) .

تباين الثالوس (Heterothallism) :

في بعض أنواع أخرى من الرايزوبس - كما في رايزوبس نيجريكانس - لا يحدث تزاوج بين خيطين من نفس الغزل الفطري كما هو الحال في الأنواع متشابهة الثالوس . بل يحدث بين خيطين يمتد كل منهما من غزل فطري يتميز جنسياً عن الغزل الفطري الآخر ، يعرف أحدهما بالسلالة الموجبة (+Strain) والآخر بالسلالة السالبة (-Strain) ، وتعرف مثل هذه الأنواع بمتباينة الثالوس (Heterothallic) ، كما تعرف الظاهرة ذاتها بتباين الثالوس . والجراثيم المتكونة داخل حافظة بوغية محمولة على غزل فطري من سلالة معينة لا تعطى عند الإنبات إلا غزلاً فطرياً من نفس السلالة ، وعند التزاوج بين خيطين من غزلين فطريين مختلفي السلالة تكون نواة الجرثومة اللاقحية الناتجة ثنائية المجموعة الصبغية (Diploid) ، وتحتوى على الصفتين الجنسيتين المحددتين للسلالتين - الموجبة والسالبة - مجتمعتين . وعندما تبدأ الجرثومة اللاقحية في الإنبات لإنتاج الحافظة البوغية والأبواغ ، تأخذ نواة الجرثومة اللاقحية الثنائية المجموعة الصبغية والمزدوجة السلالة في الانقسام ، ويكون أول انقسام لهذه النواة انقساماً اختزالياً مصحوباً بتنصيف عدد الصبغيات وانغزال الصفتين الجنسيتين المحدتين للسلالتين ، فتتكون في بادئ الأمر نواتان ، كل منهما أحادية المجموعة الصبغية موجبة أو سالبة السلالة ، أما ما يتبع ذلك من انقسامات نووية فيكون انقساماً فتيلياً ، ومن ثم تكون الأبواغ الناتجة نصفها موجب السلالة والنصف الآخر سالب السلالة ، وعند الإنبات يعطى البوغ الموجب السلالة غزلاً فطرياً موجب السلالة ويعطى البوغ السالب السلالة غزلاً فطرياً سالب السلالة ومختلف الجنس ، ولا يتم التزاوج الجنسي إلا بين خيط من غزل فطري موجب السلالة وآخر من غزل فطري سالب السلالة ، ويبين (شكل ٢٠٣) ملخص دورة حياة رايزوبس نيجريكانس المتباين الثالوس .

ثمان جراثيم زقية . ويكون الكيس الزقي ثنائى الأنوية (Binucleated) عند بدء تكوينه ، ثم تندمج النواتان وتنتج عن اندماجهما نواة واحدة ثنائية المجموعة الصبغية (Diploid) ، وتنقسم هذه النواة ثلاث مرات - أولاً انقسام اختزالى - ينتج عنه تكون ثمان أنوية أحادية المجموعة الصبغية (Haploid) ، كل نواة هى نواة جرثومة زقية ، ومن ثم فالجراثيم الزقية أصلها جنسى : حيث تنشأ نتيجة انقسام نواة مكونة من اندماج نواتين . وتبرز من الغزل الفطرى الخضرى - وتنظم بين الزقاق - خيوط عقيمة (Paraphyses) ، وتعرف الطبقة المكونة من الزقاق وما يتخللها من خيوط عقيمة بالطبقة الخصبية (Hymenial layer) وتنقسم الفطريات الزقية إلى عدة مراتب بحسب المميزات الآتية :

١- ما إذا كانت الزقاق عارية أو تنتظم داخل جدار خاص لتكون جسماً زقياً (Ascocarp) ممزاً .

٢- شكل الجسم الزقى ، ما إذا كان كروياً (Cleistothecium) أو كأسياً (Apothecium) أو قارورياً (Perithecium) .

٣- طريقة انتظام الزقاق داخل الجسم الزقى ، ما إذا كانت متوازية أو متناثرة فى غير ترتيب خاص .

٤- ما إذا كان الجسم الزقى مغلقاً أو له فتحة خاصة لانتشار الجراثيم الزقية .

وبحسب هذه الصفات الرئيسية تنقسم الفطريات الزقية إلى المراتب الثلاث

الآتية :

(أ) زقيات كروية (Plectomycetes) : وفيها إما أن تكون الزقاق عارية كما فى فطره الخميرة (Saccharomyces) . أو تنتظم داخل أجسام زقية كروية الشكل ومغلقة كما فى فطرى الأسبيرجيللس (Aspergillus) والبنيسيليام (Penicillium) .

(ب) زقيات قرصية (Discomycetes) : وفيها تنتظم الزقاق داخل

أجسام زقية كأمية الشكل أو فنجالية ، كما في فطرتي البيريزا (Peziza) والأسكوبولاس (Ascobolus) .

(ج) زقيات قارورية (Pyrenomycetes) : وفيها يتخذ الجسم الزقي شكل قارورة لها فتحة طرفية . كما في فطرة « كلافيسبس بربوريا » (Claviceps purpurea) المسببة لمرض الإرجوت في النجيليات .

وستحدث بالتفصيل عن دورة حياة كل فطرة من هذه الفطريات الزقية .

فطرة الخميرة

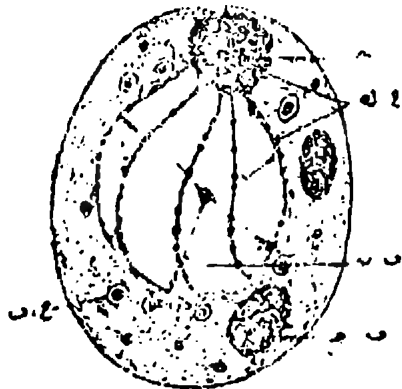
تتكون فطرة الخميرة (Saccharomyces) من خلية منفردة ، توجد حيثما وجدت المحاليل السكرية ، فهي توجد في مختلف المواد الغذائية وفي رحيق الأزهار وعلى إفرازات الأشجار والأوراق وعلى سطوح الثمار ، كما توجد في التربة ، ويعيش البعض منها إما متكافلاً وإما متطفلاً على حيوانات متعددة ، لا سيما الحشرات .

وفطرة الخميرة وحيدة الخلية ، كروية الشكل أو بيضية ، لها جدار محدد يحيط بها (شكل ٢٠٤) ، ويوجد بداخل الخلية نوية (Nucleolus) لامعة متميزة وبجانها فجوة كبيرة تحتوي على عدة خيوط ، تعرف بالخيوط الكروماتينية (Chromatin threads) . وتمثل النوية بما يصاحبها من فجوة وخيوط كروماتينية الجهاز النووي (Nuclear apparatus) للخلية . وتوجد زيادة على ذلك فجوات جليكوجينية (Glycogen vacuoles) وحبوبات فوليتينية (Volutin granules) ، تعد بمثابة مواد غذائية مخزنة .

تكاثر الخميرة : تنكاثر فطرة الخميرة بإحدى الطرق الآتية :

١ - التبرعم (Budding) : يظهر البرعم كنتوء صغير من الخلية ، ثم يأخذ في التخصر تدريجياً حتى يتم انفصاله عن الخلية الأصلية (شكل ٢٠٥ : أ) ليكون خلية بنوية ، إما أن تنفصل كلية بالتخصر لتنمو مستقلة ، أو تعطى برعماً جديداً وهي ما زالت متصلة بالخلية الأصلية ويحدث التبرعم أثناء الظروف المواتية لنمو الخلية .

(شكل ٢٠٤)



نظرة الخلية بين النوية (ن) لمساحها جوة
نوية (ف.ن) وخيوط كروماتينية (خ.ك)،
كما ترى الفجوات المايكوجينية (ف.م)
والحببات الفولبوية (ف.و) (ف.ل) عن
جودوين.

٢ - جراثيم داخلية (Endospores)

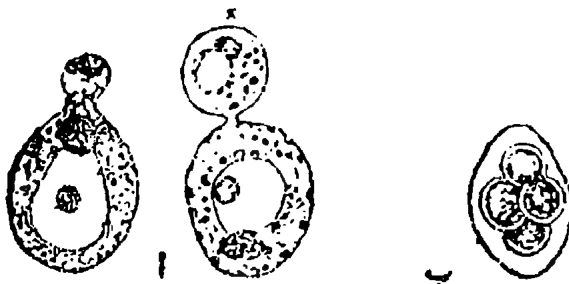
قد تنقسم المحتويات الداخلية - تحت
الظروف غير المواتية للنمو - إلى أربع
جراثيم داخلية (شكل ٢٠٥ : ب)
فتنقسم النواة مرتين لتكوين أربع
أنوية ، تكون كل واحدة منها نواة
جرثومة داخلية .

٣ - الانشقاق المستعرض

(Transverse fission) : ويشابه هذا
الانشقاق ما يحدث في الخلايا
البكتيرية ، إذ تأخذ الخلية في الاستطالة

ويتخصر وسطها حتى تنفصل إلى خليتين . ويقتصر هذا النوع من الانقسام
على فصيلة خاصة من فطريات الخميرة تعرف بفصيلة الخميرة المنشقة
(Schizosaccharomycetaceae) .

(شكل ٢٠٥)



نظرة خلية الخميرة في مرحلة (١) التبرعم،
نظرة (٢) تكوين جراثيم داخلية عن جودوين.

٤ - التزاوج

(Conjugation) : وقد

يحدث تناسل جنسي في

بعض الأنواع ، كما في خميرة

» شيزوسكارومايسيس

أو كتوسبوراس (Schizo-

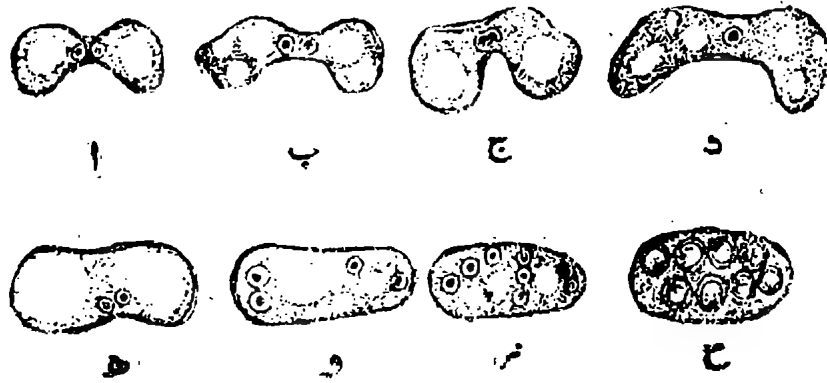
saccharomyces octos

porus) ، ولكنه غير شائع

شيع غيره من طرق التكاثر . وعند بدء التناسل الجنسي تقرب خليتان
من بعضهما البعض وتعطي كل منهما نواة أنبوي الشكل ، ثم يتقابل النواتان
ويلتصقان وتلاشي ما بينهما من حواجز وتندمج النواتان (شكل ٢٠٦ : أ-د) ،

فتتكون بذلك نواة ثنائية المجموعة الصبغية ، ثم تنقسم تلك النواة المزدوجة ثلاث مرات لتكون ثمانى أنوية ، كل نواة منها هى نواة جرثومة زقية (شكل ٢٠٦ : هـ - ح) . وهكذا يتكون زق عار - يحتوى على ثمان جراثيم زقية - نتيجة للتزاوج بين الخليتين .

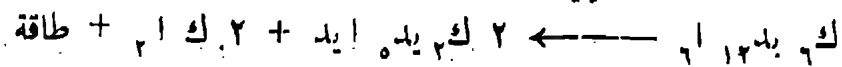
(شكل ٢٠٦)



التزاوج الجنسي في إحدى طريقتي الخميرة ، ويرى (ايد) تزاوج بين خليتين واندماج نوايهما في (د) لتكوين نواة واحدة ، (هـ - ز) ثلاثة انقسامات متتالية لنواة المدمجة لتكوين ثمانى أنوية ، (ح) تكوين ثمان جراثيم زقية (عن حويلبر ، واند) .

الفوائد الاقتصادية للخميرة : بعد التخمير الكحولى (Alcoholic fermentation) أهم استغلال صناعى ، إذ تقوم فطيرة الخميرة بإنتاج مجموعة من الأنزيمات تعرف بالازيمز (Zymase) لها القدرة في غياب الأكسجين علي تحويل بعض أحادييات السكر (Monosaccharides) إلى كحول وثانى أكسيد الكربون . وتنتج عن هذه العملية - التي تتضمن تكسير السكر إلى مركبات أبسط منه - تحرير طاقة تستغلها الخميرة في القيام بمختلف أوجه نشاطها ، حسب المعادلة الآتية :

(زاميز)



(كحول إيثيل)

ويعمل بعض الباحثين لإنتاج الكحول بواسطة الخميرة - فضلاً عن استغلالها للطاقة الناتجة - بأنه بمثابة وسيلة الكفاح تستغلها الخميرة لمحارب بها منافساتها من كائنات دقيقة تشاركها الغذاء ، من بكتيريا وفطريات ، إذ ينتج عن عملية التخمير إنتاج كمية من الكحول ، تصل إلى درجة من التركيز مقاومة لنمو فطريات التعفن والبكتيريا ، بينما تستطيع الخميرة عند هذه الدرجة من التركيز مواصلة نموها .

ونباتات الخميرة ذات أهمية اقتصادية وبعضها فوائد علاجية ، إذ تستخدم الخميرة المضغوطة كملين ، كما تستعمل بعضها كمصادر لفيتامين ب المركب ، وتضاف بعضها إلى العجينة في عمل الخبز لتخميرها . فعند إضافة الماء إلى الدقيق يعمل إنزيم الدياستيز (Diastase) الموجود به على تحويل جزء من نشا الدقيق إلى سكر ، وتعمل الخميرة على تخمير السكر ويتصاعد غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يجعل الرغيف خفيفاً منتفخاً وذا مسام .

ومن أهم الفوائد الاقتصادية لفطريات الخميرة استغلالها في صناعة الكحول : حيث تضاف إلى المواد المحتوية على سكر ، فتعمل على تحويل ما بها من مواد سكرية إلى كحول ، ثم يقطر الكحول من المحلول المتخمر : والمواد النباتية الخام التي تستغل تجارياً في صناعة الكحول هي :

١ - مواد سكرية : سكر القصب وسكر البنجر والمولاس (المحلول المتخلف بعد تبلور السكر) وعصير الفواكه .

٢ - مواد نشوية : نشا الحبوب والبطاطس والطرطوفة والتابيوكا .

٣ - مواد سليلوزية : الخشب ومحلول الكبريتيت المتخلف عن تحضير عجينة الورق من لب الخشب .

ولما كانت القدرة الإنزيمية لفطريات الخميرة لا تستطيع إنتاج الكحول إلا من سكرات سداسية (Hexoses) ، فإن طريقة التحضير تتباين باختلاف المادة النباتية الخام المستعملة ، فإن كانت مادة سكرية فتضاف إليها

مباشرة فطيرة الخميرة ، أما إذا كانت مادة نشوية أو سليلوزية فلا بد من إتمام تسكرها قبل بدء عملية التخمير ، أى تحويلها إلى سكر ، ويتم ذلك إما باستغلال الطرق الكيميائية بالتحلل المائى (Hydrolysis) أو بعملية تسكر إحيائية ، حيث تستطيع الإنزيمات المستخلصة من بعض الفطريات إتمام تحول النشا والسليلوز إلى مواد سكرية .

وتختلف المادة النباتية الخام المستعملة فى صناعة الكحول تجارياً باختلاف البلدان ، ففي الولايات المتحدة الأمريكية يستعمل المولاس (المحلول المتخاف بعد تبلور السكر واستخلاصه من عصير قصب السكر أو البنجر) ونشا الحبوب . وفى ألمانيا يستعمل نشا البطاطس ، وفى فرنسا سكر البنجر ، أما فى السويد - حيث تكثر الأخشاب وتستخلص منها عجينة الكبريتيت المستعملة فى صناعة الورق - فيحضر الكحول تجارياً من المحلول السليلوزى المتخلف عن هذه الصناعة ، وفى إيطاليا يستغل سكر البنجر والمولاس والأعقاب ، أما فى جمهورية مصر العربية فتقوم صناعة الكحول على استغلال المولاس وعصير الفواكه المتعفنة .

وتربى بعض فطريات الخميرة فى مزارع صناعية وتستغل فى تحضير المشروبات الكحولية كالبيرة والتينيد . فى صناعة البيرة (الجمعة) تنقع حبوب الشعير فى الماء لمدة يومين أو ثلاثة عند درجة حرارة ملائمة للإنبات . وبعد إنبات الحبوب وتحويل ما بها من نشا مدخر إلى سكر بفعل إنزيم الأميليز الموجود فى الحبوب ذاتها ، تؤخذ الحبوب النابتة وتجفف عند درجة حرارة عالية كافية لإبطال عمل الإنزيم ثم تجرش البادرات النابتة المحففة وتوضع فى براميل كبيرة ، ويضاف إليها الماء ، وتغلى مع الأزهار الأثوية لنبات حشيشة الدينار ، الذى يرجع إليه الفضل فيما تكتسبه البيرة من نكهة ومرارة . وبعد تبريد المخلوط تضاف إليه خميرة البيرة فيتحول السكر إلى كحول وثانى أكسيد كربون . وتتوقف جودة البيرة الناتجة على الأنواع المستعملة من نباتات الخميرة والشعير وحشيشة الدينار .

أما في صناعة النبيذ فتوجد جراثيم فطيرة الخميرة بكثرة في الهواء المحيط بحقول الأعناب ، كما توجد الفطيرة ذاتها على الثمار الناضجة ، ولذلك فليس ثمة حاجة لإضافة الخميرة إلى عصير العنب ، بل يكفي بتعريض العصير للهواء فتتخذ فطيرة الخميرة وجراثيمها طريقها إليه ، وتنمو عليه بكثرة وتحول ما به من سكر إلى كحول وثاني أكسيد كربون ، ويحفظ العصير في براميل كبيرة ويترك فيها زمناً كافياً لإتمام عملية التخمير ببطء .

وتستغل بعض فطريات الخميرة بالتكافل مع البكتيريا في عمليات تخمر خاصة تعرف بالتخمير التكافلي (Symbiotic fermentation) فيها تكون الخميرة والبكتيريا معاً نباتات مركبة توجد على هيئة كتل هلامية . ففي الخميرة التكافلية المعروفة باسم كفير (Kefir) - وهي تتكون من فطيرة خميرة وبكتيريا الستربتوكوكس (Streptococcus) - لا تستطيع الخميرة بمفردها أن تؤثر تأثيراً مباشراً على سكر اللبن (Lactose) . ولكن عندما يتحول هذا السكر إلى سكر سداسي (ك٦ يد١٢ ا٦) بوماطة البكتيريا السبحية فإن فطيرة الخميرة تستطيع حينئذ أن تحول السكر السداسي الناتج إلى كحول وثاني أكسيد كربون كما يأتي :

بكتيريا سبحية

(أ) سكر لبن (لاكتوز) ————— ← سكر سداسي (هكسوز)

خميرة

(ب) سكر سداسي ————— ← كحول وثاني أكسيد الكربون .

وتوجد بالمثل خميرة تكافلية مركبة - من فطيرة خميرة وبكتيريا باسيلس (Bacillus) تستغل في المناطق الريفية بأمريكا لتحويل المولاس إلى خل (حمض خليك) حسب الخطوات الآتية :

خميرة

١ - المولاس ————— ← كحول وثاني أكسيد الكربون .

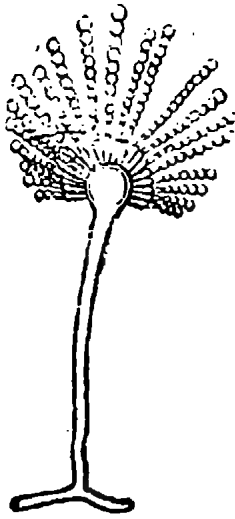
باسيلس

٢ - كحول ————— ← حمض خليك .

ولمنا كانت فطريات الخميرة غنية بمحتوياتها البروتينية والفيتامينية فهي تستعمل كغذاء ودواء ، حيث تعطى للأشخاص الذين يعانون نقصاً ملحوظاً في البروتينات أو الفيتامينات .

أسرجيلس

تعد الفطرة أسرجيلس (*Aspergillus*) من أوسع الفطريات انتشاراً الطبيعية ، وهي تنمو مترمة على جميع البقايا النباتية والحيوانية المبتلة ، وتسبب تعفن الخضراوات والفواكه واللحوم وغيرها من المواد الغذائية ، كما تسبب بعض أنواعها أمراضاً جلدية وتصيب الأعضاء التنفسية في الإنسان والحيوان ، وتستغل الطاقة الإنزيمية الإنحلالية للفطرة صناعياً لإنتاج حامض الأوكساليك والستريك (الليمونيك) من السكر . (شكل ٢٠٧)



الحامل الكونيدى
للأسرجيلس ، ويرى الرأس
المتفخ عند طرف الحامل غير
النقسم ، تنبثق منه عدة ذنبيات ،
يحمل كل واحد منها سلسلة
من الجراثيم الكونيدية

والغزل الفطرى للأسرجيلس متفرع ومقسم داخلياً ، وتحتوى كل خلية على عدة أنوية ، وتتناسل الفطرة لاجنسياً بتكوين حوامل كونيدية (*Conidiophores*) قائمة وغير مقسمة عادة ، وينتفخ الحامل الكونيدى عند الطرف مكوناً رأساً مميزاً تنبثق منه عدة ذنبيات (*Sterigmata*) ، يحمل كل ذنب منها سلسلة من الجراثيم الكونيدية (شكل ٢٠٧) ، تنتظم في تعاقب قسمى (*Acropetal succession*) ، فأصغرها حجماً تلاصق الذنب وأكبرها تقع بعيدة عنه ، وتنفصل هذه الجراثيم بتوالى التخصر ، وتنتثر بسهولة بواسطة الرياح ، حتى إذا ما استقرت على مادة عضوية أنتجت مباشرة غزلاً فطرياً

جديداً ، أما التناسل الجنسي فنادر الحدوث ويقتصر على بعض أنواع يتميز اسم الجنس فيها باليوروشيام (Eurotium) ، وينتج عن التناسل الجنسي تكوين جسم زقى كروى الشكل مغلق (Cleistothecium) تنتشر بداخله الزقاق فى غير انتظام .

بنيسيليام

البنيسيليام (Penicillium) - كالأسبرجيللس - من الزقيات الكروية ، التى تتوزع فيها الزقاق دون انتظام داخل جسم زقى كروى الشكل مغلق ، وهو أيضاً كالأسبرجيللس من أوسع الفطريات انتشاراً فى الطبيعة ، وينمو مترمماً ويسبب إتلاف الكثير من المواد العضوية ، ويوجد على الخبز المتعفن والجبن والليمون وغيره من الموالح ، وهناك نوع يسبب تعطين التفاح ، ومن أنواعه ما تعمل على إفساد

(شكل ٢٠٨)



المواد والأقمشة . وتسبب الفطرة العفن الأخضر (Green mould) أو العفن الأزرق (Blue mould) حسب نوع البنيسيليام المسبب للعفن . ويتم التناسل اللاجنسى بوساطة حوامل كونيديية (Coni-diophores) قائمة متفرعة مقسمة داخلياً بدر مستعرضة ، وتأخذ الأطراف النهائية للحامل الكونيدي

فى التفرع ، ويحمل كل فرع نهائى ذنبيات (Strigmata) ، قد تنفرع بدورها إلى ذنبيات ثانوية (Secondary sterigmata) أو الحامل الكونيديى للبيليام ، وترى الذنبيات الأولية والثانوية ، ويحمل كل ذنب ناتوى سلسلة من الجراثيم الكونيديية ، ويبدو الحامل الكونيديى جيمه كالعرشاة أو الكنة (عن سميت) .

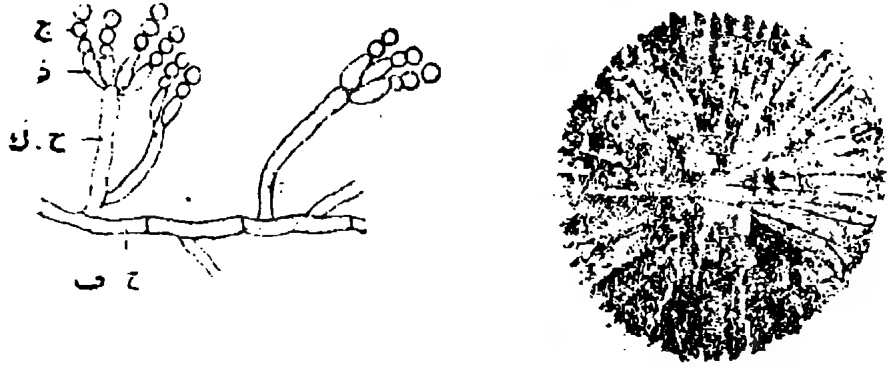
ثلاثية (Tertiary sterigmata) وهلم جرا - حسب الأنواع المختلفة للفطرة -
ويحمل الذئيب الطرفى سلسلة من الجراثيم الكونيدية التى تنتظم فى تعاقب
فى (شكل ٢٠٨) ، ويشبه الحامل الكونيدى جميعه الفرشاة أو المكنتسة .

وتعد فطرة البنيسيليام من أغنى الفطريات من حيث قدرتها على إنتاج
الإنزيمات ، وتستغل هذه الطاقة الإنزيمية صناعياً فى تحضير بعض أنواع الجبن
الممتاز ، فى جبن روكفورت (Requesfort cheese) يستغل نوع «بنيسيليام
روكفورتى» (Penicillium requesforti) فى إتمام نضجها ، حيث تنمو
الفطرة على سطحها ومتعمقة فيها ، وتعمل - بفضل ما تنتج من إنزيمات - على
تحويل الدهون والكربوهيدرات والبروتين إلى مواد أخرى تضى على هذا
الجبن ما يتميز به من رائحة ونكهة وتركيب خاص ، وينمو هذا النوع من
فطرة « البنيسيليام » بنجاح تحت ظروف الحرارة والرطوبة التى تختص بها
كهوف الأحجار الجيرية فى إقليم « روكفورت » بفرنسا . ولما كانت هذه
الفطرة هوائية - أى تحتاج إلى قدر كاف من الهواء للتنفس عندما تتعمق داخل
الجبن - فإنها تحدث به عدة فجوات تهيئ للغزل الفطرى المتعمق قدراً كافياً
من الهواء . وبالإضافة إلى جبن روكفورت هناك أيضاً أنواع أخرى مثل جبن
كاميمبرت (Camembert cheese) التى تستغل لانضاجها القدرة الإنزيمية
لنوع آخر من الفطرة تعرف علمياً باسم « بنيسيليام كاميمبرتى » (Penicillium
camemberti) .

وقد أصبحت لفطرة البنيسيليام الآن أهمية خاصة . وامتدت شهرتها حتى
عمت جميع الآفاق ، وذلك بسبب قدرة بعض أنواعها . مثل « بنيسيليام
نوتاتم » (Penicillium notatum) - (شكل ٢٠٩) - و« بنيسيليام كريزوجينام »
(Penicillium chrysogenum) على إنتاج عقار البنيسيلين (Penicillin) وغيره
من المضادات الحيوية (Antibiotics) ، إذ وجد أن فطرة البنيسيليام تستغل
طاقمها الإنزيمية لتحويل بعض مكونات المئبب الغذائى الذى تنمو عليه إلى
نواتج أيضاً تعمل على قتل البكتيريا - أو غيرها من الميكروبات - لتحـ

من نموها ومن منافستها لها في الحصول على الغذاء ، وقد استغلت هذه الظاهرة طبيياً لقتل الميكروبات المسببة للأمراض داخل جسم الإنسان ، وسنتحدث عن عقار البنيسيلين وغيره من المضادات الحيوية بالتفصيل في باب لاحق .

(شكل ٢٠٩)



(ب)

(أ)

فطر البتسليام فونانم - المتعة للسبيل - ويرى في (أ) المظهر المبرعى للعزل الفطري (من كروجر) ، وفي (ب) المظهر المبرعى التفصيل مينا : (ح . ف) العبط الفطري ، (ح . د) الحامل الأسكونيدي ، (د) ديب ، (ج) كويده (من بولد)

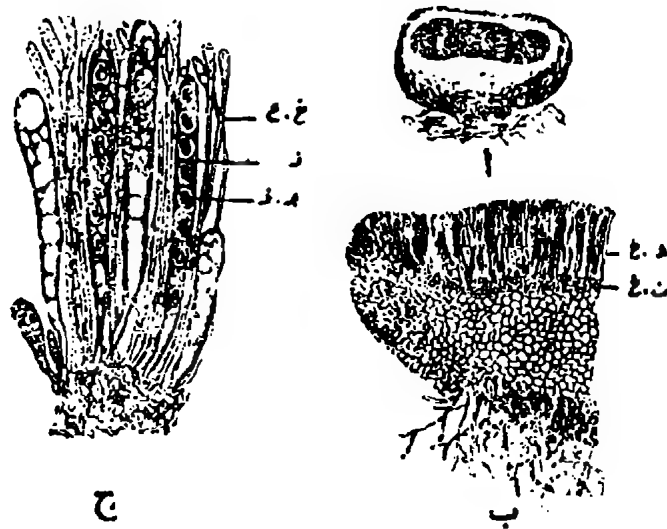
بيزينا

فطرة البيزينا (Peziza) من الزقيات القرصية (Discomycetes) ، وتعيش غالبية أنواعها مترمة على المواد العضوية في التربة والخشب المتعفن وروث البهائم ، وجسمها الزقي كأسى الشكل جالس (شكل ٢١٠ : أ) تنتظم بداخله الزقاق مرتبة ومتوازية وتتخللها خيوط عقيمة (شكل ٢١٠ ب ، ج) ، ويحتوى كل زق على ثمان جراثيم زقية عديدة اللون مرتبة في صف واحد (Uniseriate) ، وتكون الزقاق والخيوط العقيمة طبقة خصية (Hymenium) محاطة بجدار من كتلة متكاثفة من خيوط فطرية متشابكة ، وتظل الزقاق في مستوى مواز لما يجاورها من خيوط عقيمة بعد اكتمال نضج الطبقة الخصية .

أسكوبولس

تعد فطره الأسكوبولس (Ascobolus) مثلاً آخر للزقيات القرصية ،
وتعيش مترمة على الأنواع المختلفة من روث البهائم . وتتميز الأجسام الزقية
عن مثيلاتها في « البيريزا » في طريقة انتظام الثمان جراثيم الزقية داخل كل زق
إذ أنها تنتظم في أكثر من صف واحد (Multiseriate) ، وتتخذ ألواناً
زاهية ، وعند اكتمال نضج الطبقة الخصوية تأخذ الزقاق في الاستطالة بحيث
تقع في مستوى أعلى من مستوى ما يتخللها من خيوط عقيمة .

(شكل ٢١٠)



فطره البيريزا ، ويرى الجسم الزقى الجالس (١) وقطاع فيه (ب) بين الطبقة الخصوية
ط . خ () ونحت الخصوية (ث . خ) ، وفي (ج) جزء مكبر من الطبقة الخصوية بين
الزقاق (ز) يدخل كل منها ثمان جراثيم زقية (ج . ز) والخيوط العقيمة (خ . خ) .

كلافيسييس بربريا

تصيب فطره الكلافيسييس بربريا (Claviceps purpurea) - وهي من
الزقيات القارورية (Pyrenomycetes) - الكثير من النجيليات ، مثل
القمح والشعير والجويدار والشوفان ، وتوجد جراثيمها الزقية منتشرة في
الهواء ، حتى إذا ما استقرت على مياسم الأزهار نشطت وأخذت في الإنبات

إلى داخل الحبة مكونة غزلاً فطرياً داخل الحبة وهى ما تترال فى دور التكوين وتكون الحبوب المصابة عادة أكبر حجماً من الحبوب السليمة ، ولا يلبث الغزل الفطرى أن يتخلل أنسجة الحبة فيستنفد ما بداخلها ويحل بالتدريج محل محتوياتها . وتتكاثر الفطرية أثناء هذه الفترة بوساطة جراثيم كونيديية تتكون على سطح الحبة المصابة ، وتنظم هذه الجراثيم عند أطراف حوامل كونيديية أسطوانية الشكل قصيرة تتخذ وضعاً عمودياً على سطح الحبة ، والجراثيم كلها وحيدة الخلية بيضية الشكل صغيرة الحجم ، ويصاحب تكوين هذه الجراثيم الكونيديية إفراز رحيق حلو المذاق يجذب إليه الحشرات ، التى تقوم - أثناء ارتشاف هذا الرحيق - بنقل الجراثيم إلى أزهار نباتات جديدة لتبدأ إصابات أخرى ، وهكذا دواليك .

ويحل الغزل الفطرى محل المحتويات الداخلية للحبة تماماً عندما يكتمل نضجها ، ثم يكون كتلة كثيفة سوداء صلبة تعرف بالجسم الحجري أو السكليروشيوم (Sclerotium) ، تتخذ نفس الشكل العام للحبة ولكنها فيما بعد تفوقها حجماً . وتبرز فى وضوح من رأس الحبة (شكل ٢١١ : أ) ، وتحتوى هذه الأجسام الحجرية السوداء على مادة سامة للحيوان والإنسان . وعند تجفيفها تصبح فى صلابة الأحجار وتعرف فى علم الأمراض باسم « سيكال كورنيوتم » (Secale cornutum) .

وبعد إتمام الطور الكونيديى فى تاريخ حياة الفطرية تكون السكليروشيومات (أو الأجسام الحجرية) قد اكتمل نضجها ، ويكون الموسم الزراعى للنبات العائل وشيك الانتهاء ، فتساقط هذه السكليروشيومات على الأرض ، وتبقى فى حالة سكون طول فصل الشتاء ، فإذا ما حل فصل الربيع عادت نشاطها وأعطى كل سكليروشيوم عدداً من أجسام تعرف بالسترومات (Stromata) ، يتكون كل واحد منها من عنق طويل عقيم ينتهى برأس كروى متنفخ (شكل ٢١١ : ب) ، وتنظم الأجسام الزقية القارورية (Perithecia) على سطح الرأس جميعه وتسكون غائرة فيه (شكل

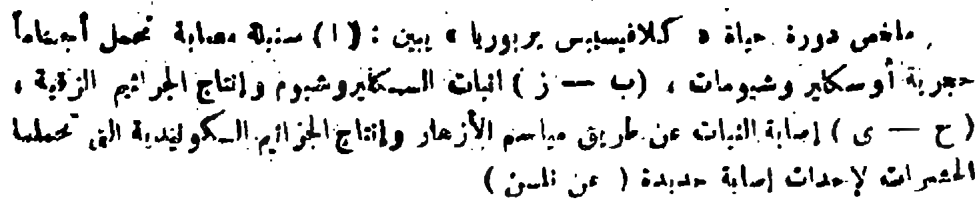
(شكل ٢١١) :



كلافيسيس بربوزيا : (ا) النبات المصاب ومطية المكلفوشيومات ، (ب) مكلفوشيوم
نايت وعليه السرومات ، (ج) قطاع طولى في رأس السرومة حيث لتنظيم الاجسام الزقية
الغارورية عند الحافة ، (د) جسم زقى بداخله زقاق ، (هـ) زقى بداخله جراثيم زقية ، (و) تحرر
الجراثيم الزقية من الزقى ، (س) جرثومة زقية لبرية الشكل .

٢١١ : ج) . ويحتوى كل جسم زقى على عدد من الزقاق (شكل
٢١١ : د) ، يحوى كل زقى منها ثمان جراثيم لبرية الشكل (شكل ٢١١
هـ - س) ، فإذا ما نضجت الزقاق تحررت منها الجراثيم الزقية فى قوة بالغة
وانتشرت فى الهواء ، وحملتها الرياح فى الموسم الزراعى التالى إلى نبات عائل
فتستقر على مياثم الأزهار لتعيد من جديد دورة الحياة ، ويبين (شكل ٢١٢)
ملخص دورة حياة الفطرة .

ويعرف المرض المسبب عن هذه الفطرة بمرض الإرجوت (Ergot)



(disease) ، ويسبب وجوده في النبات العائل نقصاً في المحصول ورداءة في الصنف . وبالإضافة لما تسببه الفطرة للنبات من أضرار ، فهو مرض خطير بالنسبة للإنسان والحيوان حيث يسبب لهما مرضاً يسمى بالتسمم الإرغوتي (Ergotism) . ولستخلصات هذه الفطرة قيمة طبية ، حيث نحتوى على مواد تسبب إحداها انقباض العضلات غير الإرادية وتسبب أخرى تخفض الأوعية الدموية ، وتحدث المادة الأولى الإجهاض في الماشية بسبب استحثائها لانقباض الرحم ، وتستغل طبيياً لتعاود أرحام الأمهات انقباضها الطبيعي بعد الولادة .

وتسبب التغذية المستمرة للمواشى على حبوب مصابة بالإرجوت مرضاً لها يعرف باسم الإرجوت الغنغاري (Gangrenous ergotism) ، وتمثل أعراض هذا المرض في ليونة وتاكل الحوافر وأطراف الذبول والآذان ، وسقوط الشعر والأسنان ، ولا تلبث الماشية المصابة إلا قليلاً حتى يعثرها الهزال ويحرق بها الهلاك .

وقد ثبت وجود مركبين فعالين فسيولوجياً في مستخلصات الإرجوت ، أحدهما هو الهيستامين (Histamine) المسبب لانقباض العضلات ، والآخر قلوانى يعرف باسم هيدروكسى فينيل إثيل أمين (Hydroxyphenyl ethylamine) يسبب زيادة كبيرة في ضغط الدم ، ويعتبر الإرجوت طبيئاً لتسهيل الولادة والإقلال من النزيف الذى يعقبها بسبب تأثيره القابض على الرحم ، وقد يعطى للإجهاض ، إلا أن استعماله للغرض الأخير من الخطورة بمكان .

الفطريات البازيدية

تختلف الفطريات البازيدية (Basidiomycetes) عن الفطريات الزقية من حيث طريقة انتظام الجراثيم الجنسية المميزة لها ، والتي تعرف بالجراثيم البازيدية (Basidiospores) ، إذ تنتظم هذه الجراثيم خارج الخلية الوالدة المنتجة لها ، والتي تعرف بالكيس البازيدى أو البازيديوم (Basidium) .

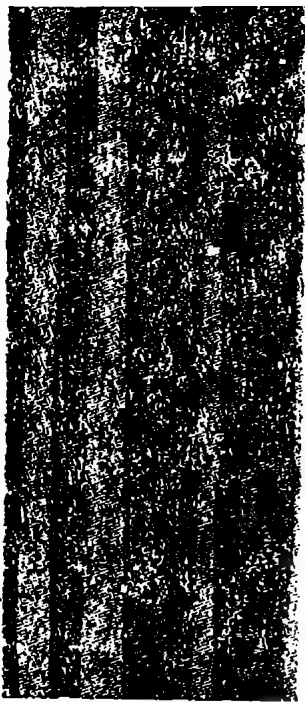
وسنقتصر فى الفطريات البازيدية على دراسة تاريخ حياة فطره متطفلة هى « باكسينيا جرامينيس » (Puccinia graminis) وفطره مترمة هى عيش الغراب (Agaricus) .

باكسينيا جرامينيس

تعيش فطره الباكسينيا جرامينيس (Puccinia graminis) متطفلة ، وتم دورة حياتها على نباتين عائلين مختلفين ، أحدهما نبات نجلى - كالقمح والشعير والشوفان - والآخر إما أحد أنواع البربرى هو « بربرىس

فولجارييس « (Berberis vulgaris) أو « الماهونيا أكريفوليم » (Mahonia aquifolium) ، وتمثل أعراض المرض على القمح - أو غيره من النجيليات - بظهور بثرات مستطيلة بارتفاعية اللون في أوائل موسم الإنبات تعرف بالبثرات اليوريدية (Uredosori) ، وتظهر في آخر الموسم بثرات مستطيلة بنية داكنة أو سوداء اللون هي البثرات التيليتية (Teleutosori) ، وتوجد البثرات اليوريدية والتيليتية على الأوراق وأغصان الأوراق والساق وقنايع الأزهار (شكل ٢١٣) ، ولكن تسود الإصابة عادة الأوراق والساق ويعد هذا من أسباب خطورة المرض لأن السيقان المصابة تموت أنسجتها وبذلك يقف مدد الغذاء إلى السنابل فتضمحل الحبوب ، وتتوقف درجة ضموورها على شدة الإصابة وميعاد ظهورها . ولما كان أكثر الأجواء ملائمة لانتشار المرض هو الجو الدافئ الرطب ، فإن انتشاره يكثر في منطقة الدلتا ، وخاصة في الجهات الشمالية منها ، ويقل بالتدريج كلما اتجهنا جنوباً حتى يكاد ينعدم كلية في أعالي الصعيد .

(شكل ٢١٣)



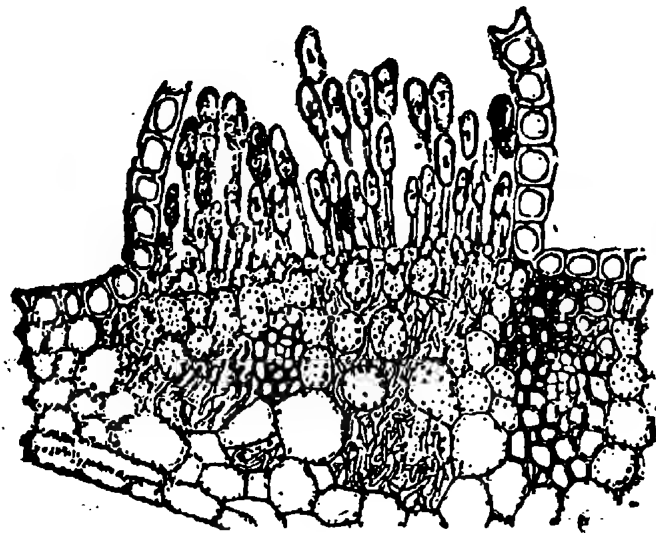
ويصيب مرض الصدأ الأسود القمح الهندي ، أما القمح البلدي فنيح ، ويبلغ متوسط الخسائر التي يسببها للقمح الهندي سنوياً في القطر المصري حوالي ٥ ٪ إلى ٨ ٪ من المحصول في السنوات العادية ، وقد يصل أحياناً إلى حوالي ٢٠ ٪ ، على أن بعض الحقول شديدة الإصابة قد تصل نسبة نقص المحصول فيها إلى ٥٠ ٪ أو أكثر ، وتقدر الخسارة المادية بحوالي ما بين ونصف مليون جنيه سنوياً .

وتبدأ إصابة القمح في باكورة موسم النمو بواسطة جراثيم منتشرة في الهواء ، هي الجراثيم اليوريدية (Uredospores)

الظهور الخارجي لبثرات فطرية الصدأ
الأسود على الساق والأوراق .

أو الجراثيم الأسيدية (Aecidiospores) ، فإذا ما استقرت الجرثومة على سطح ورقة القمح أو غيره من النجيليات — وتميأت لها الظروف المناسبة للإنبات — انبثقت منها أنابيب إنبات (Germ tubes) واتخذت طريقتها داخل الثغور إلى أنسجة النبات الداخلية . ولما كانت كل جرثومة — سواء أكانت يوريدية أو أسيدية — وحيدة الخلية ثنائية الأنوية ، فإن كل خلية من خلايا الغزل الفطري المتطفل تحتوى أيضاً على نواتين منفصلتين ، ويتقدم الغزل الفطري المتطفل في المسافات البينية بأنسجة العائل : مرسلات بممصات (Haustoria) إلى داخل الخلايا ذاتها ليمتص منها ما يحتاج إليه من مواد غذائية حتى يستنفد محتوياتها ويسبب موتها .

الجراثيم اليوريدية (Uredosporas) : يزدهر ذو الفطرة باستفادها للمحتويات الغذائية للنبات العائل ، ثم تأخذ في التكاثر لا جنسياً لتحافظ على نوعها ، شأنها في ذلك شأن غيرها من الكائنات ، فيتجمع الغزل الفطري تحت البشرة مباشرة ويزداد تفرعه ازدياداً ملحوظاً ، وتتكون جراثيم يوريدية عند أطراف الخيوط



كطاع و غمد ورقة قمح . صاب . بطرة الصدا . في كسبها
جراثيم في . بين البثرة اليوريدية والبشرة المرققة .
ورى كل جرثومة يوريدية مكونة من خلية واحدة ثنائية
الأنوية ولها عنق طويل (عن موت)

عند أطراف الخيوط

الفطرية ، ولا تلبث

البشرة — التي تعلو

البثرة اليوريدية —

أن تتمزق نتيجة

للتجمع التدريجي

للجراثيم اليوريدية

وازدباد أحجامها

(شكل : ٢١٤) ،

وتتعرض البثرات

اليوريدية للخارج

كبثرات برتقالية

اللون . والجراثومة اليوريدية بيضية الشكل بارتفاعية اللون معنقة ، وهي تتكون من خلية واحدة بداخلها نواتان منفصلتان ، ولها جداران ، جدار خارجي مسنن وغلظ وجدار داخلي رقيق ، ولها عدد من ثيوب الإنبات (Germ pores) في جزئها الأوسط ، تنشق منها فيما بعد أنابيب الإنبات .

وتنفصل الجراثيم اليوريدية بسهولة عن البثرات وتنتشر بواسطة الرياح لتصيب نفس العائل أو عوائل أخرى جديدة من النجيليات ، وتكرر هذه العملية عدة مرات أثناء موسم إنبات القمح . ويتوقف مدى انتشار الفطرة المتطفلة على طبيعة الظروف الجوية السائدة ، فوظيفة الجراثيم اليوريدية هي العمل على إكثار الفطرة وانتشار المرض أثناء موسم إنبات القمح أو غيره من النجيليات .

الجراثيم التيلية (Teleutospores) : تستمر الفطرة في إنتاج بثرات يوريدية مازلت نبات القمح - أو غيره من النجيليات - في حالة خضرية جيدة وعندما يقارب النبات العائل مرحلة النضج تستجيب الفطرة للتغيرات الأيضية في النبات بإنتاج نوع آخر من الجراثيم تعرف بالجراثيم التيلية تتكون في بثرات (شكل ٢١٥) بنية داكنة اللون تسمى البثرات التيلية . وتتكون كل جرثومة تيلية من خليتين بينهما انقباض بسيط ، وتحتوي كل خلية - وهي صغيرة - على نواتين

يندمجان في نواة واحدة ثنائية

المجموعة الصبغية (Diploid)

عند اكتمال نضج الجرثومة .

والجرثومة التيلية معنقة

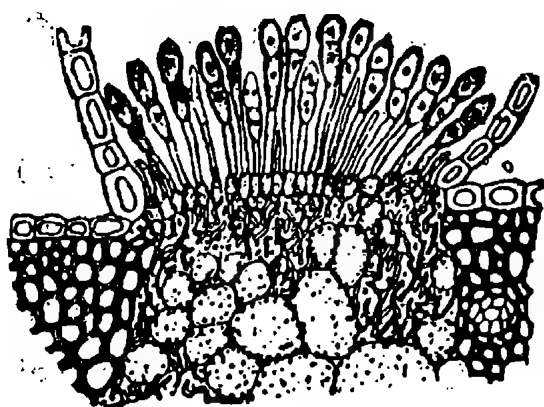
ولها قمة مدببة ، وجدارها

الخارجي غليظ ذو لون

بنى داكن ، مما يضفي هذا

اللون على البثرة التيلية

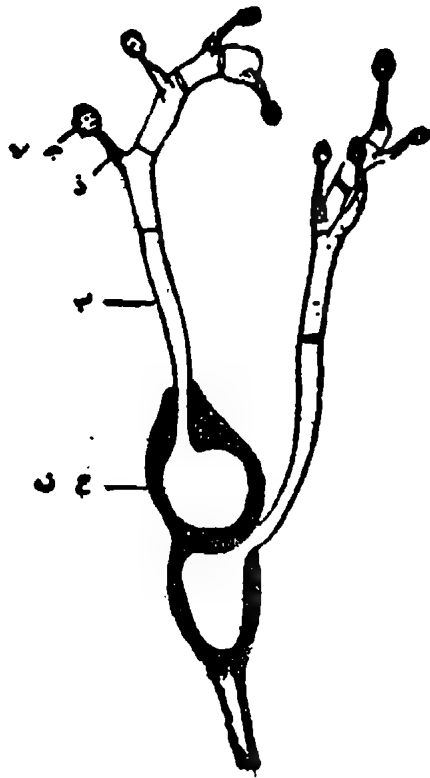
جميعها



قطاع زهرة نبات قمح نضج ببطرة الصدا
أكبها جراثيم تيلية . بين البثرات التيلية والبثرة
المزلة وتري كل جرثومة تيلية مكونة من خليتين
ولها عنق طويل (م. هويت)

ولا تلبث الجراثيم التيليتية أن تساقط على الأرض بعد انتهاء موسم النمو ، وتستمر فترة مستقرة في التربة ، حيث تحتاج هذه الجراثيم لفترة سكون قبل أن تعاودها القدرة على الإنبات ، ويتباين مدى هذه الفترة باختلاف الظروف البيئية .

الجراثيم البازيدية (Basidiospores) : عندما تبدأ الجرثومة التيليتية في الإنبات ، تعطى كل خلية أنبوية تنبت من ثقب إنبات ، وتحتوى كل خلية تيليتية على ثقب إنبات واحد . ويقع ثقب الخلية العليا عند قمتها المدببة ، وثقب الخلية السفلى على أحد الجانبين تحت الجدار المستعرض الفاصل بين الخليتين مباشرة (شكل : ٢١٦) ، وتنزل كل خلية - وهي ثنائية المجموعة الصبغية (Diploid) - إلى داخل أنبوية الإنبات ، حيث تنقسم انقسامين متتاليين ، أولهما انقسام اختزالي يختزل فيه عدد



جرثومة تيليتية نابنة تبين ارتباط
البازيديوم (ب) من الخلية التيليتية (ج.ب)
وانتظام جرثومة بازيدية (ج.ب) على
ذئب (د) يخرج من كل خلية بازيدية .

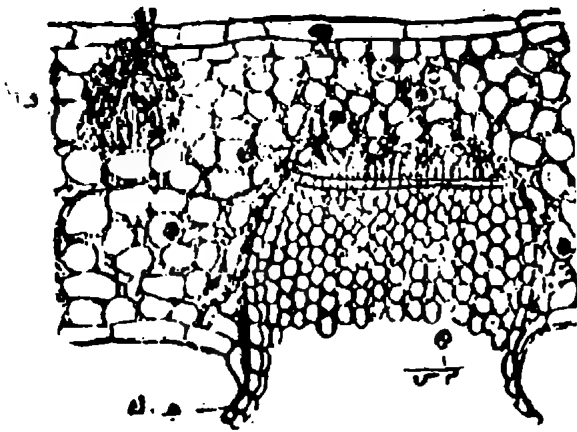
الصبغيات (Chromosomes) إلى النصف وتنسج أربع أنوية أحادية المجموعة الصبغية (Haploid) في كل أنبوية إنبات ، وتحول الأخيرة بالتدريج إلى بازيديوم (Basidium) تتكون بداخله حواجز مستعرضة بين الأنوية ، وبذلك ينقسم البازيديوم إلى أربع خلايا بازيدية (Basidial cells) ، تحتوى كل واحدة منها على نواة واحدة وحيدة المجموعة الصبغية ، ثم يفشق من كل خلية بازيدية نوء أو ذئب (Sterigma) ينتهى بانتفاخ كروي الشكل تنتقل إليه نواة الخلية البازيدية ليكون جرثومة بازيدية ، وتنقل هذه الجرثومة ، وتنقل

بوساطة الرياح لتصيب نبات البربرى ، وهو النبات العائل الثانى فى دورة حياة فطره الصدأ .

وبصاحب انتصاف عدد الصبغيات أثناء الانقسام الاختزالى لنواة الخلية التبليغية انعزال الصفات الجنسية ، بحيث تكون الجراثيم البازيدية الأربعة - المتكونة على كل بازيديوم - من سلالتين جنسيتين متميزتين : اثنتان من سلالة موجبة (Positive strain) والأخريان من سلالة سالبة (Negative strain).

الجراثيم البكنية والإسيدية (Pycnio & aecidio spores) : بعد أن تستقر الجراثيم البازيدية على نبات البربرى تأخذ فى الإنبات ، وتخرق أنبوبة الإنبات أدمة ورقة النبات لتعطى غزلاً فطرياً داخلياً ، كل خلية من خلاياه تحتوى نواة واحدة كالجراثيم البازيدية التى نشأ منها . ولا نابث الفطرة أن ثم عن وجودها بتكوين أوعية قارورية الشكل على السطح العلوى للورقة (شكل ٢١٧) تعرف بالأوعية البكنيدية (Pycnidia) وأخرى كأسية الشكل على السطح السفلى عادة تعرف بالكؤوس الإسيدية (Aecidial cups) . أما الأوعية البكنيدية فتحتوى

(شكل ٢١٧)



قطاع فى ورقة إنبات البربرى بين الوعاء البكنيدى (و . ب) على السطح العلوى والكأس الإسيدى على السطح السفلى ، وزرى فى الكأس الإسيدى الجراثيم الإسيدية (م . س) وجدار الكأس (ج . ك) . (س . ب) يرئى وسكون .

على خيوط خصيبة تعرف بالخيوط البكنيدية

(Pycnidial hyphae)

ينتهى كل خيط منها

بسلسلة من الجراثيم البكنية

وتتخللها خيوط عقيمة

(Paraphyses) ، كما أن

هناك نزعاً ثالثاً من

الخيوط تعرف بخيوط

الاستقبال (Receptive or

flexuous hyphae) تبرز

للخارج من فتحة الوعاء

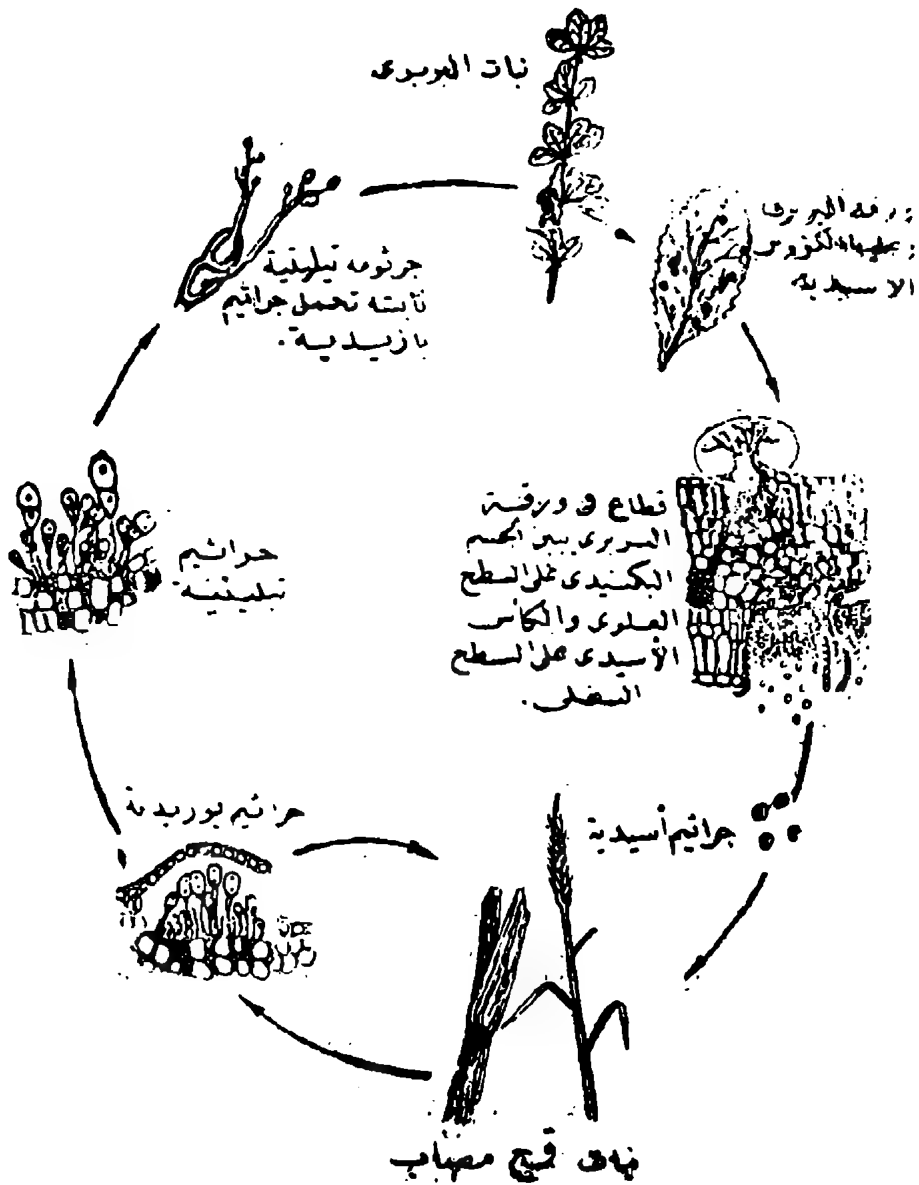
البكنيدى .

وكانت الجراثيم البكنية تعرف قبلاً باسم البذيرات (Spermatia) ، وكانت وظيفتها ماثار خلاف وجمال ، فكان البعض يعدها بمثابة جراثيم إضافية لتكاثر الفطرة على نبات البربرى ، مثلها في ذلك مثل الجراثيم اليوريدية على القمح ، وكان البعض الآخر يعدها بمثابة وحدات جنسية ذكرية فقدت وظيفتها ، ولم تعد تقوم بدور فعال في دورة الحياة ، ولكن ثبت حديثاً أنها من الأهمية بكان ، فانهزال الصفات الجنسية عند تكوين الجراثيم البازيدية ينتج عنه - عند إصابة نبات البربرى بجراثيم بازيدية متميزة جنسياً - تكوين سلالتين من الغزل الفطرى ، إحداهما موجبة والأخرى سالبة ، وبالتالي إنتاج سلالتين متميزتين من الأوعية البكنيدية : وتستقبل خيوط استقبال الأوعية البكنيدية الموجبة السلالة الجراثيم البكنية الآتية إليها من الأوعية السالبة السلالة ، أو بالعكس ، وتفرض الأوعية البكنيدية مادة رحيقية حلوة المذاق تجذب إليها الحشرات - لاسيما الذباب - لتسهيل انتقال الجراثيم البكنية بين الأوعية المختلفة الجنس ، ويحدث تزاوج جنسى بين جرثومة بكنية وخلية طرفية لحيط استقبال - مختلفى الجنس - وتنتقل نواة الجرثومة البكنية إلى الخلية الطرفية حيث تتكون خلية ثنائية الأنوية (Binucleated) ينشأ عن توالى انقسامها تكون غزل فطرى ثانوى - جميع خلاياه ثنائية الأنوية - ينتج نحو السطح السفلى لورقة البربرى حيث تنبت منه الكؤوس الإسيدية .

أما الكؤوس الإسيدية فتكون مطمورة داخل نسيج العائل ، وتستقر فتحاتها عند سطح البشرة ، ويحاط كل كأس إسيدى بحدار عيم مكون من طبقة واحدة من خلايا الفطرة يسمى بالجراثيم الثمرى (Peridium) ، ويوجد عند قاعدة الكأس صف من خلايا مستطيلة تعرف بالخلايا العنقية (Stalk cells) تنبت من كل منها سلسلة مكونة من خلايا صغيرة تعرف بالخلايا البينية (Intercalary cells) تتبادل معها الجراثيم الإسيدية ، وتتكون كل خلية بينية وجرثومة إسيدية من خلية ثنائية الأنوية . وعندما يتم نضج الجراثيم الإسيدية تأخذ الخلايا البينية في الانحلال والاختفاء لتحرير ما بينها من جراثيم

الأسيدية تنتقل بواسطة الرياح لتصيب القمح في باكورة موسم الخبز ، وهكذا
تعيد فطرة الصداً دورة الحياة ، ويرى في (شكل : ٢١٨) ماخص دورة
حياة فطرة صداً القمح .

وهكذا فالفطرة « باكسينيا جرامينيس » تمضى دورة حياتها على عائلتين
مختلفتين ، أحدهما القمح والآخر البربرى ، ولما كان نبات البربرى غير
(شكل ٢١٨)



لحصى دورة حياة فطرة « باكسينيا جرامينيس » المسبب لمرض الصداً الأسود للقمح .
(من سينوت)

موجود بمصر ، فمن المرجح أن إصابة القمح بمرض الصدأ تنسب عن أحد المصادر الآتية :

١ - جراثيم الفطرة اليوريدية التي تتكون على بعض الحشائش النجيلية القابلة للإصابة بالصدأ ، حيث تمضى الفطرة فصول الصيف والشتاء .

٢ - جراثيم الفطرة اليوريدية التي تحملها الرياح من بلدان مجاورة ، يوجد بها العائل الثانى « البربرى » ، وما يعزر ذلك تشابه سلالات الفطرة الفسيولوجية في مصر وفيما جاورها من البلدان .

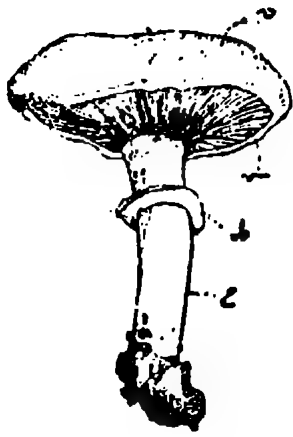
وأفضل طريقة لمقاومة هذا المرض هي إيجاد أصناف منيعة من الأقحاح ، كما يعمل التبركير في الزراعة والاعتدال في التسميد الأزوتى والرى على الإقلال من شدة الإصابة بالمرض .

عيش الغراب

تتميز فطرة عيش الغراب (*Agaricus*) بتولده جراثيمها البازيدية خارج البازيديوم ، ويحمل كل بازيديوم أربع جراثيم بازيدية . وتعيش هذه الفطرة عادة مترمة في الأوساط الدبالية ، إلا أن هناك أجناساً أخرى تنتمى إلى نفس المجموعة التصنيفية التي تنتمى إليها فطرة عيش الغراب ، بعضها يعيش مترماً والبعض الآخر متطفلاً ، ومنها ما يعيش متكافلاً مع نباتات راقية في علاقة تعرف بالجلند فطريات (*Mycorrhiza*) .

ويعيش الغزل الفطرى الحضرى غالباً مطموراً في المادة أو الطبقة التحتية التي تنمو عليها الفطرة . ويكون الغزل الفطرى في كثير من الأحيان حوالياً ، بمعنى أنه يعيش موسماً واحداً ثم يذبل ويموت بعد إنتاج الحوامل الجرثومية ، وفي أحيان أخرى يكون الغزل الفطرى معمرأ ، فيعيش أعواماً طويلة منتجاً حوامل جرثومية سنوياً ، وتتجمع البازيديومات - بما تحمّل من جراثيم بازيدية

(شكل ٢١٩)



الحامل الجرثومي للفطر .
الغزل : الفانسوة (ز) ،
الصفائح الخيشومية (س) ،
الطول (ط) ، والعنق (ع)
(عن روبرتس)

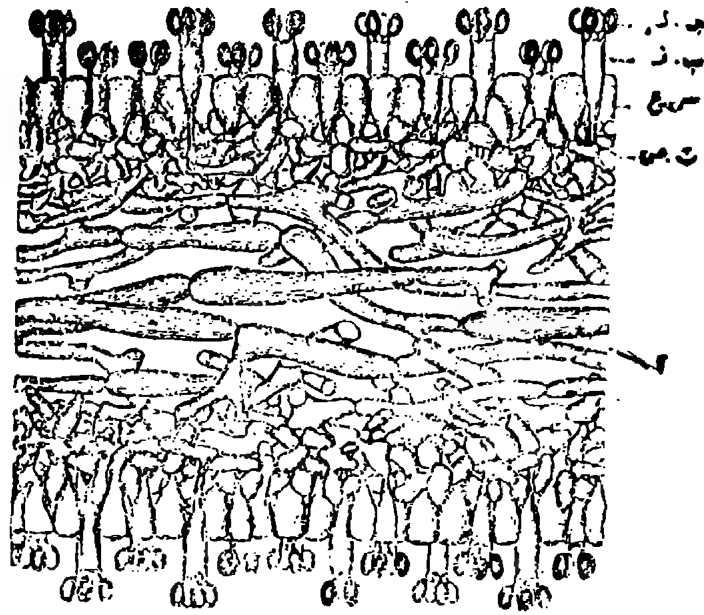
- في حامل جرثومي (Sporophore) يظهر فوق سطح الأرض على هيئة مظلة . ويتكون الحامل الجرثومي من عنق (Stalk or Stipe) ينتهي عند طرفه العلوي بقائسوة (Pileus) متفتحة وممتدة أفقياً ، وتنظم على السطح السفلي للقائسوة صفائح خيشومية (Gills) تبدأ من حافة القائسوة حتى قبيل موضع اتصالها بالعنق (شكل ٢١٩) ، وهذه الصفائح هي التي تحمل البازيدومات والجراثيم البازيدية .

ويبدأ الحامل الجرثومي كانتفاخ صغير على الغزل الفطري ، ثم يأخذ في النمو إلى أعلى تدريجياً ، وإذا قطعنا قطاعاً طويلاً في حامل

جرثومي صغير نجد أنه محاط إحاطة كاملة بغلاف يعرف بالقناع العام (Universal veil) ، ويعمل هذا القناع على صيانة المكونات الداخلية للحامل الجرثومي في بدء التكوين ، وعندما يزداد حجم الحامل الجرثومي يتمزق القناع العام - لتخلفه عن مسايرة نمو الحامل الجرثومي - ويبقى الجزء الممزق منه عند قاعدة العنق كلفافة (Volva) ، ويتكون أيضاً قناع جزئي (Partial veil) ، يعمل على صيانة الصفائح الخيشومية - عند ابتداء تكوينها - من العوامل الخارجية الضارة ، ولا يابث القناع الجزئي أن يتمزق عند حافة القائسوة عندما يزداد امتدادها أفقياً ، والجزء المتبقى منه حول الطرف العلوي للعنق يعرف بالطوق (Annulus) .

ويبين قطاع عمودي على السطح السفلي للقائسوة التركيب الداخلي للصفحة الخيشومية (شكل ٢٢٠) ، حيث تستقر بوسطها كتلة مفككة من خيوط فطرية متشابكة تعرف بالتراما (Trama) ، تقع خارجها على كل من الجانبين طبقة من خيوط فطرية أكثر تشابكاً وتعقيداً مكونة ما يشبه الخلايا المستديرة وتسمى بالطبقة تحت الحصبية (Subhymenial layer) ، أما أقصى الطبقات

(شكل ٢٢٠)

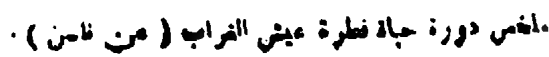


قطاع في صديعة خشومية يبين من الخارج الداخل : الطبقة الخشبية مسكونة من
مذبومات (ت ز) حاملة حرازم بازيدية (ج . ز) وتظلها خيوط عقيمة (س م) ،
هفة تحت خشبية (ت س) ثم تتوسط الغرما (م) القطاع . (عن روبرتس) :

الخارجية فتعرف بالطبقة الخشبية (Hymenial layer) وتتكون من بازيدومات
مختاطة بخيوط عقيمة ، وتبرز من كل بازيدوم أربعة نتوءات أو ذنبيات
(Sterigmata) ، يحمل كل منها جرثومة بازيدية . والخيوط العقيمة قد تساعد
على انتشار الجراثيم البازيدية بعد أن يتم نضجها ، فيحملها الهواء إلى مسافات
بعيدة ، فإذا ما سقطت على الأرض - وهيئت لها الظروف المواتية للإنبات -
أعادت دورة الحياة .

ويرى في (شكل ٢٢١) ما يخص دورة حياة فطره « عيش الغراب » .

وتستعمل الحوامل الجرثومية اللحمية لبعض أنواع عيش الغراب غذاء
الإنسان . فهي الطعام الأساسي لفقراء المناطق التي تحدها البحر البلطيق وشمال
شرقي روسيا ، وكان الفرنسيون أول من اشتغل بزراعتها لاستعمالها كمادة غذائية
ومن ثم امتدت زراعتها إلى الأنحاء الأخرى من أوروبا وأمريكا وآسيا ، وهي
تزرع الآن في الغراء في جنوب شرقي إنجلترا ، وأصبحت زراعتها مربحة من



الوجهة التجارية ، ويستهلك الصينيون واليابانيون كثيراً من عيش الغراب في غذائهم ، وتباع نضيرة أو مجففة أو محفوظة . إلا أن هناك أنواعاً من عيش الغراب شديدة السمية للإنسان ، مثل فطره عيش الغراب الذبابي - المعروفة علمياً باسم « أمانيتا موسكاريا » (*Amanita muscaria*) - وتتميز بقلنسوة حمراء عليها ثآليل باهتة أو بيضاء ، وهي فطره سامة ، إذا أكلت كمية صغيرة منها سببت صداعاً ودواراً وهذياناً ، وغالباً ما يعقب ذلك حدوث تشنجات وإغماء ، أما الكميات الكبيرة منها فقاتلة . ولذلك تستعمل لتسميم الذباب والتخلص منه . ومن أجناس عيش الغراب ما تسبب تعطن الخشب (Wood rotting) فتؤدي إلى تدمير أعمدة التليفونات والمنازل الخشبية وفلنكات السكك الحديدية .

1

الباب الثامن عشر

الأشن

تعيش بعض الفطريات والطحالب معاً معيشة تكافلية تقوم على تبادل المنفعة ، وتعرف النباتات المركبة من فطرة وطحلب متكافلين معاً بالأشن (Lichens) . والفظ (Lichenes) مشتق من لفظ إغريق استعمله أحد علماء الإغريق القدماء للدلالة على نمو سطحى على أشجار الزيتون . والصفة البارزة للأشن هى تركيبها من كائنين مميزين ومختلفين : فطرة وطحلب . والمكونات الطحلبية للأشن إما أن تنتمى إلى الطحالب الخضراء أو الخضراء المزرققة . أما المكونات الفطرية فقد تكون من الفطريات الزقية فى الأشن الزقية (Ascolichens) أو من الفطريات الغشائية البازيدية فى الأشن البازيدية الغشائية (Hymenolichens) إلا أن غالبية الأشن تنتمى إلى الأشن الزقية ، وتقتصر الأشن البازيدية الغشائية على بضعة أجناس قليلة تعيش فى المناطق الاستوائية .

المظهر الخارجى :

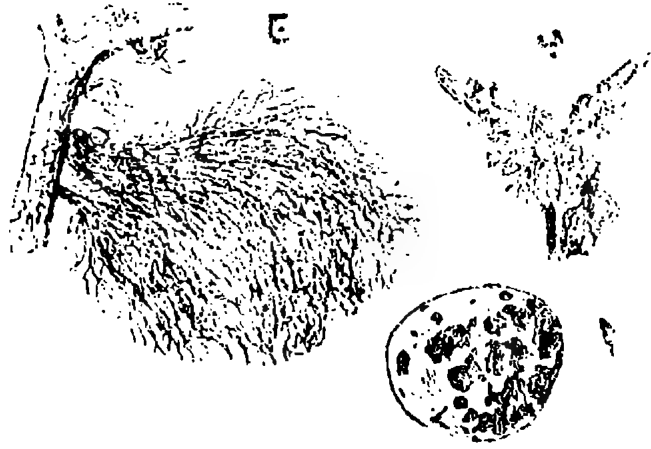
تعيش الأشن غالباً كنباتات عالقة على جذوع الأشجار أو مغطيه للصخور والتربة والجدران ، وهى منتشرة فى أنحاء العالم بدرجة كبيرة . فتوجد فى قمم الجبال وفى المناطق الباردة والحارة والمعتدلة ، وتستطيع أن تقاوم الجفاف لدرجة كبيرة . وتتميز ظاهرياً إلى الطرز الآتية (شكل ٢٢٢) :

١ - خيطية (Filamentous) : وفيها تتكون الأشنة من خيوط فطرية وطحلبية متشابكة .

٢ - قشرية (Crustose) : ويكون الثالوس الأشنى فيها على هيئة قشرة تلتصق التصاقاً وثيقاً ، إما تحتها من طبقة أو صخرة .

٣ - ورقية (Foliose) : ويكون الثالوس الأشنى فيها مفلطحاً وشبهاً بالورقة ، مفصصاً أو عميق التفصص ، يتصل إما تحتها اتصالاً غير وثيق بأشياء جذور .

(شكل ٢٢٢)



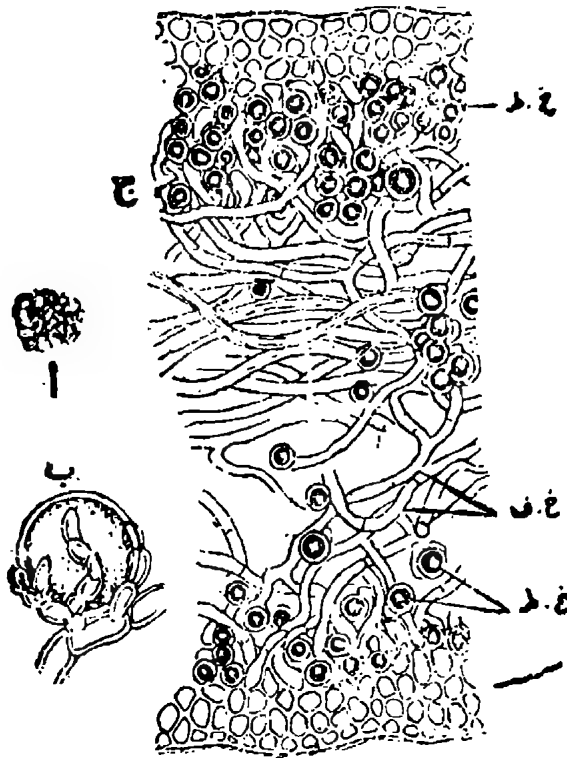
الطرر المختلفة من الأشن : (١) الفطرية (ب) الوراق ، (ج) الشجرية (ع من فرنس
و-ال-جوري)

٤ - شجرية (Fruticose) : وفيها يكون الثالوس الأشني إما قائماً أو
مدلى ، وله قاعدة محددة تعمل على تثبيته بالدعامات التي يتركز عليها .

التركيب الداخلي :

في أبسط الأنواع تكون الأشنة خيطية ، بمعنى أنها تتكون من خيوط
متشابكة من الفطرة والطحلب المتكافلين . أما في الأنواع الراقية من الأشن
فتكون الخيوط الفطرية هي السائدة ، وتتجمع وتشابك لتكون نسيجاً يشبه
النسيج البارنشيبي ، يحتوى بداخله على خلايا منفردة من الطحالب الخضراء أو
الخضراء المزرققة ، والخلايا الطحلبية - المنتشرة بين الخيوط الفطرية المتشابكة -
كانت تعد في وقت من الأوقات بمثابة أعضاء تناسلية للأشنة ؛ ومن ثم سميت
جونيديات (Gonidia) ، وما زالت هذه التسمية مستعملة حتى الآن ولو أنها
فقدت دلالتها . وبحسب مدى تشابك الخيوط الفطرية يتميز الثالوس الأشني
داخلياً إلى قشرة ونخاع (شكل ٢٢٣) ، ففي القشرة يكون التشابك كثيفاً وفي
النخاع يكون مفككاً . ويتميز الثالوس الأشني إلى نوعين حسب توزيع
الجونيديات أو الخلايا الطحلبية . ففي أحدهما النوعين تتوزع الخلايا الطحلبية

(شكل ٢٢٣)



فقطع مستمر من و أشنة (ج) متميزة داخلها إلى أشنة خارجية ونحاع وسطى ، وننشر الخلايا الطحلبية (خ) ط) بين الخيوط الفطرية (خ. ب) ، وترى و (ب) خلية طحلبية تنسجها الخيوط الفطرية ، و (أ) السوريدة (من فرنش والسبورى)

والخيوط الفطرية توزيعاً منتظماً داخل جميع الثالوس ، وفي النوع الثانى يتحدد وجود الخلايا الطحلبية فى طبقة خاصة تعرف بالطبقة الجونيدية (Gonidial layer) فتكون هناك قشرة وطبقة جونيدية ونحاع ، أما القشرة والنحاع فلا تتكون إلا من خيوط فطرية .

طرق التكاثر :

يتكاثر المكون الفطرى للأشنة حسب المجموعة الفطرية التى ينتمى إليها ،

ففى الفطريات الزقية يكون التكاثر بوساطة جراثيم زقية ، وفى الفطريات البازيدية الغشائية (Hymenomycetes) بجراثيم بازيدية ، فإذا ما نبتت الجرثومة فى وجود الطحلب الملائم أنتجت أشنة جديدة ، ويحتاج تكوين الأجسام الثمرية الفطرية - من زقية أو بازيدية - إلى وفرة الضوء ، أما الأشن التى تعيش فى الأماكن الظليلة فتكون غالباً عقيمة . وتنفصل قطع من الثالوس - تحت ظروف غلغائية خاصة - لتعطى كل قطعة أشنة جديدة . إلا أن هناك نوعاً خاصاً من تكاثر الأشن يحدث بوساطة أجزاء من الأشنة تعرف بالسوريدات (Soredia) ، وهى أجزاء دقيقة من الثالوس الأشنى قابلة للانفصال ، وتتكون كل سوريدة (Soredium) من خلية طحلبية

أو أكثر يحيط بها الخيط الفطري ويتعلق ويتصل بها اتصالاً وثيقاً (شكل ٢٢٣ : أ ، ب) ، وتستطيع كل سوريبة - تحت الظروف المواتية للإنبات - أن تعطي ثالوثاً أشنياً جديداً ، أى أن السوريدات تعد بمثابة أعضاء خضرية خاصة لتكاثر الأشن . وتتكون السوريدات بكثرة على سطح الأشنة على هيئة مسحوق دقيق ، يفتت بسهولة بواسطة الرياح أو الماء ، ولا نابث الأشنة الناتجة عن إنباتها أن تظهر في أية تربة معرارة ملائمة .

العلاقة الفسيولوجية :

تبدو العلاقة بين الفطرة والطحلب المكونين للأشنة كعلاقة تبادل منفعة أو تعاون تكافلي ، فالمكونات الطحلبية (أو الجونيدات) تحتوى على مادة اليخضور ، ومن ثم فستطيع أن تثبت غاز ثاني أكسيد الكربون - في وجود الضوء والماء - وتمد الفطرة المعاشرة بالفائض عن حاجتها من المواد الكربوهيدراتية ، ويحصل الطحلب مقابل ذلك على احتياجاته من الأملاح المعدنية وغيرها من الفطرة التي تمتص خيوطها هذه المواد من التربة وتنقلها إلى داخل الثالوس الأشني . وتقوم الخيوط الفطرية بوظيفة غطاء يحيط بالجونيدات الطحلبية ويعمل على صيانتها . وفي الأشن التي ينتمي فيها المكون الطحلي للطحالب الخضر المزرق يكون الجدار الهلامي للطحلب ذا قابلية عظيمة لامتصاص الرطوبة الجوية والاحتفاظ بها ، ولذلك تستطيع هذه الأشن أن تقاوم ظروف الجفاف وتعيش تحت أقسى الظروف الصحراوية .

الفوائد الاقتصادية :

تعد الأشن من الأهمية بمكان من الوجهة البيئية ، فهي تستطيع أن تقاوم الجفاف وغيره من ظروف بيئية قاسية ، فتتمتع في الأماكن القاحلة التي تعجز غيرها من النباتات عن المعيشة فيها ، وتبدل بالتدرج من خواص التربة القاحلة بما تحدثه فيها من تغيرات تمهيداً لظهور غيرها من نباتات أرق منها ، فمثلاً تعمل غالبية الأشن القشرية على إذابة وتفتيت ما تحته من صخور بما تفرزه

أشباه الجذور من أحماض ، وتزيد الأشن بعد موتها وتراكمها المحتويات العضوية للتربة وترفع من درجة خصوبتها .

وتحتوى بعض الأشن ، لاسيما أشنة روسيللا تينكتوريا (*Rocella tinctoria*) على مواد ملونة تستغل غالباً في صباغة المنسوجات ، كما تحضر من الأشن بعض الأصباغ مثل صبغ الأورسين وعباد الشمس (Litmus) .

وتستعمل بعض الأشن كغذاء للإنسان أو الحيوان ، ومن الأشن التي تستغل كغذاء للإنسان الأشنة « ستراريا أيسلنديكا » (*Cetraria islandica*) ، المعروفة عادة باسم الحزازى الإيسلندى (Iceland moss) ، التي تجمع وتنقع في الماء للتخلص مما بها من مواد مرة المذاق ثم يجفف الثالوس الأشنى وتستخلص منه مادة كربوهيدراتية تعرف باسم الليكينين (lichenin) ، تذوب في الماء الساخن وتعطى عند التبريد مواد هلامية شبيهة بالجيلاتين ، تضاف إلى اللبن لتعطى شراباً مرطباً على القيمة الغذائية ، ويقال أن من بنى إسرائيل الذى أنزل من السماء - وذكر في القرآن - هو أشنة « ليكانورا اسكيولنتا » (*Lecanora esculenta*) ، وهذه الأشنة تكسو سطح التربة في أنحاء شتى من العالم . وثبت أن بعض الأشن تستطيع إنتاج مضادات حيوية مثل الأيوسين وحمض الأوزنيك ، وللبعض منها تأثير مميت على ميكروبات مرض السل (الدرن) .

الباب التاسع عشر

علم الفطريات الطبية

يهدف علم الفطريات الطبية (Medical mycology) إلى دراسة الفطريات التي تسبب الأمراض للإنسان ، من حيث الأعراض والتأثيرات ، ومن حيث إيجاد سبل المقاومة والعلاج . كما يهدف إلى الاستغلال الطبي لما تنتجه الفطريات من فيتامينات وبروتينات وإنزيمات ومضادات حيوية ، وغيرها من مواد ، لتزيد من مقاومة الإنسان للأمراض أو لتسبغ عليه نعمة الشفاء .

ويطلق لفظ فطريات بوجه عام ليشمل جميع الثالوسيات غير اليخضورية من فطريات حقيقية (Eumycetes) وفطريات شعاعية (Actinomycetes) وتعد الفطريات الأخيرة بمثابة حلقة وسطى بين البكتيريا الحقيقية والفطريات الحقيقية ، إذ يتراوح تركيب الثالوس فيها - حسب الفصائل التي تحتويها - بين خلية عصبية متفرعة أكثر صلة بالبكتيريا منها بالفطريات ، كما هو الحال في ميكروب الدرن أو السل (Tuberculosis) والمعروف علمياً باسم « ميكوباكتيريوم تيسوبركيولوسيس » (Mycobacterium tuberculosis) وبين طراز من الثالوس الخيطي ، قد يكون غير متفرع وبدائياً وينفصل بسهولة إلى وحداته الخلوية الشبيهة بالبكتيريا ، كما في كل من الجنسين أكتينومييسيز (Actinomyces) ونوكارديا (Nocardia) ، أو يكون متفرعاً وثابت الخيطية - كما هو الحال في الفطريات الحقيقية - مثل جنس « ستربتومييسيز » (Streptomyces) الذي تنفرد أنواعه المختلفة بالقدرة على إنتاج الستربتومايسين والأوريوميسين والتتراسيكلين وغيرها من مضادات حيوية ميسينية .

ويمكن تقسيم الأمراض الفطرية التي تصيب الإنسان ، حسب تصنيف مسبباتها ، تحت المجموعتين الآتيتين :

(أ) أمراض فطرية شعاعية (Actinomycetous diseases) .

(ب) أمراض فطرية حقيقية (Eumycetous diseases) .

والأمراض الفطرية الشعاعية مسببة عن الإصابة بإحدى الفطريات الشعاعية ، وهى طراز من الفطريات — كما سبق القول — تتوسط في خواصها البكتيريا والفطريات الحقيقية ، فهى تشارك البكتيريا الحقيقية في بساطة تركيبها ودقة أحجامها واستجابتها لصبغة جرام وصمودها للأحماض وفي بعض الاستجابات الفسيولوجية ، كما تشارك الفطريات الحقيقية في نزعها لتكون وثبوت أغزالها الفطرية وزيادة تعضى خلاياها الفطرية والقدرة على تكوين وحدات تكاثرية ، وبالإضافة إلى الأمراض الخطيرة التى يسببها جنس ميكوباكتريم (Mycobacterium) الوحيد الخلية ، مثل مرضى الدرن والجدام (Leprosy) ، فهناك جنسان من الفطريات الشعاعية الخيطية يسببان أمراضاً إنسانية بوجه خاص . وهما جنس « الأكتينومييسيز » (Actinomyces) الذى يسبب المرض المعروف باسم المرض الفطرى الأكتينومييسيزى (Actinomycosis) و« نوكارديا » (Nocardia) ويسبب المرض الفطرى النوكاردى (Nocardiosis) .

والفطريات الحقيقية المسببة للأمراض الإنسانية موزعة بين مختلف تحت طوائفها التصنيفية (جدول ١٢) ، فيما عدا تحت طائفة الفطريات البازيدية (Basidiomycetes) ، وتتميز أنواعها التى تسبب للإنسان إصابات داخلية بأنها ثنائية التشكل (Dimorphic) ، لا سيما فطريات الخميرة بالذات ، إذ تتميز هذه الفطريات بأنها تنمو داخل الأجساد الإنسانية — عند درجة ٣٧ م — على هيئة خلايا فردية متبرعمة ، مثلها في ذلك كمثل خلية خميرة وحيدة الخلية ، ولكن إذا عزلت من هذه الأجساد الإنسانية وأمكن تنميتها على منابت غذائية أجارية — عند درجة حرارة منخفضة نسبياً ومواتية لنموها — استردت شكلها الخيطى المميز لها ، وأمكن التمييز بين مختلف أجناسها وأنواعها ، وذلك من حيث المميزات الشكلية والمزرعية والفسيولوجية ،

لا سيما فيما يختص بتباين استجاباتها الإنمائية لمختلف المواد الكيميائية والمضادات الحيوية ، مما يمهّد الطريق لإيجاد السبل الكفيلة لمقاومة أضرارها أو القضاء عليها ويرجع هذا التشكل الثنائي لنفس الفطرة إلى اختلاف الظروف البيئية والфизиولوجية داخل الأجساد الإنسانية وفي المhabitات الغذائية الأجارية .

جدول رقم (١٢)

أمثلة لبعض الأمراض الإنسانية المسببة عن فطريات حقيقية ، حسب توزيعها في مختلف طوائفها ، مع بيان الاسم العلمى للسبب الفطرى .

المسبب الفطرى	اسم المرض	تحت الطائفة [Sub Class]
أنواع من جنس موكري [<i>Mucor</i>] ورايروبوس [<i>Rhizopus</i>]	مرض فطرى موكري [<i>Mucormycosis</i>]	فطريات طحلبية [<i>Phycomycetes</i>]
أسبرجيلس فيرميجانس [<i>Aspergillus</i> <i>Fumigatus</i>]	مرض فطرى أسبرجيللى [<i>Aspergillosis</i>]	فطريات رقيقة [<i>Ascomycetes</i>]
كانديدا ألبكانس [<i>Candida albicans</i>]	مرض فطرى كانديدى [<i>Candidamycosis</i>]	فطريات خميرة [<i>Blastomycetes</i>]
سبوروتريكم شينكايى [<i>Sporotrichum</i> <i>Schenckii</i>]	مرض فطرى سبوروتريكى [<i>Sporotrichosis</i>]	فطريات نائمة [<i>Deuteromycetes</i>]

وغالبية الفطريات الحقيقية المسببة للأمراض الإنسانية تنتمي إلى الفطريات الناقصة أو الديترميسيتات (Deuteromycetes) بالمئات ، وهى فطريات حقيقية تعوزها الأعضاء الجنسية ولا تستطيع التناسل جنسياً ، ولكنها تستطيع التكاثر خضرياً أو لاجنسياً ، ومن ثم فيعتمد تصنيفها إلى أجناس وأنواع على صفات وألوان أغزائها الفطرية وما تباديه من مميزات فسيولوجية ، مثل مدى إنتاجها للأصبغ وما تظهره من ألوان ، وقدراتها الإنزيمية على تخمير السكريات وغيرها من مواد ، كما يعتمد على طراز ما تنتجه من وحدات لاجنسية، وما إذا كانت تلك الوحدات كونيديات صغيرة (Microconidia) أو كونيديات كبيرة (Macroconidia) ، وما إذا كان لديها القدرة على تكوين طراز خاص من الجراثيم يعرف باسم الجراثيم المفصليّة (Arthrospores) ، حيث ينفذ الغزل الفطري — عند إكمال نموه — إلى مكوناته الخلوية ، وتحيط كل خلية نفسها بجدار سميك وتصبح غنية بالمواد الاختزائية ، وتنفصل عما يجاورها من خلايا لتصبح جرثومة مفصليّة ، ثم تذرو الرياح هذه الجراثيم المفصليّة لتجد طريقها إلى مزيد من العوائل الإنسانية .

الأمراض الفطرية بوجه عام :

يمكن تضمين الأمراض المسببة عن فطريات تحت المجموعتين الرئيسيتين الآتيتين :

١ -- أمراض فطرية سطحية (Superficial mycoses) .

٢ -- أمراض فطرية عميقة أو جهازية (Deep or Systemic mycoses) .

وتصيب الأمراض الفطرية السطحية الجلد أو الأظافر أو الشعر ، وتسبب التقيحات والآلام ، ولكنها لا تؤثر على الصحة العامة ، أما الأمراض الفطرية العميقة أو الجهازية فتعد غالباً من الخطورة بمكان ، حيث تمتد عميقاً إلى الأعضاء الداخلية الحيوية وتسبب لها أضراراً ، بل قد تكون مميتة في بعض الأحيان .

ولا تكون الأمراض الفطرية الجهازية عادة معدية نظراً لكونها صعبة الانتقال ، بينما تكون الأمراض الفطرية السطحية معدية لسهولة انتقالها من المريض إلى الأصحاء ، ومن ثم فهي الأكثر شيوعاً بين الأمراض المسببة عن فطريات ، وتصنف أحياناً تحت مجموعة خاصة من الأمراض تعرف باسم الأمراض الفطرية الجلدية (Dermatophytoses) ، أما مسبباتها من الفطريات فيطلق عليها اسم الفطريات الجلدية (Dermatophytes) ، وسنتحدث عن كل منها باختصار .

الأمراض الفطرية السطحية :

تسبب هذه الأمراض عادة عن فطريات حقيقية ، وأبرزها هي الأمراض القوبائية المسببة عن الإصابة بفطريات ناقصة ، وهي لا تكون في الجلد المصاب سوى الخيوط الفطرية والجراثيم المفصليّة ، ولكن إذا عزلت وأنميت على منابت غذائية صناعية—مثل منبت سابورويد (Sabouraud's medium) فإنها تنمو ببطء لتعطي مستعمرات كثيفة النور ، لا تلبث أن تكسوها نموات زغية أو دقيقة من الخيوط الفطرية ، تتخذ ألواناً زاهية ، وتنتج على الدوام حوامل كونيديّة تحمل جراثيم لا جنسية تعرف بالكونيديات (Conidia) ، وغالبية هذه الجراثيم من طراز « الكونيديات الصغيرة » (Microconidia) الفضيلة الحجم والكثيرة الشكل ، توجد عادة على جوانب خيوط فطرية غير مميزة أو تتجمع عند أطراف خصلات محددة ، وبالإضافة إلى ذلك تعطي بعض أجناس هذه الفطريات جراثيم أكبر حجماً تعرف باسم « الكونيديات الكبيرة » ، وهي متعددة الغرف مستطيلة أو مغزلية الشكل ، وتصنف الفطريات المسببة للأمراض القوبائية — حسب نوع وشكل الكونيديات والمميزات الشكلية والفيولوجية للأغزال الفطرية — تحت الثلاثة الأجناس الآتية :

١ - ميكروسبورم (Microsporum) .

٢ - ترايكوفيتون (Trichophyton) .

٣ - إبيدرموفيتون (Epidermophyton) .

وبين (جدول ١٣) المسببات الفطرية - من بين هذه الأجناس الثلاثة - المسئولة عن بعض الأمراض القوبائية ، كما يبين بعض الأمراض الفطرية السطحية الأخرى المسببة عما عداها من فطريات حقيقية وفطريات شعاعية .

ولا تصيب الأنواع المختلفة من جنس « ميكروسبورم » سوى الشعر والجلد حيث تكون كتلة الجراثيم الصغيرة باقة حول قاعدة الشعرة وتنمو تحت سطح الجلد مباشرة . أما أنواع جنس « ترايكوفيتون » فتصيب الشعر والجلد والأظافر ، وتتوالد على الشعر المصاب سلاسل من جراثيم مفصليّة تنظم في صفوف متوازية داخل أو خارج الشعرة المصابة . ولا تصيب أنواع جنس « إبيدروموفيتون » الشعر ولكنها تصيب فقط الجلد والأظافر .

وتتمثل أعراض غالبية الأمراض الفطرية السطحية بوجود بثرات سطحية على الجلد أو الأغشية المخاطية ، وتستوفى المسببات الفطرية احتياجاتها الغذائية مما يوجد الخلايا الخارجية للبثرات من بروتين غير مذاب يعرف باسم « الكراتين » (Keratin) ، وتظهر أعراض المرض على هيئة حلقات متحدة المركز ، ينتج عنها نفطات وتقشرات في الجلد ، وتميل الإصابة إلى الالتئام وسط كل حلقة ومواصلة الامتداد تجاه الحافة ، ومن ثم تتكون حلقات من نسيج ملتهب ، وقد يصاحب الإصابة أكلان متباين الشدة . وتستطيع بعض أنواع الفطريات مواصلة النمو داخل مادة الشعرة ذاتها .

وسنتحدث بالتفصيل عن مرض قراع الرأس - أو قوباء الرأس (Tinea capitis) - كمثال لأحد تلك الأمراض الفطرية السطحية :

مرض القراع : يحدث مرض القراع نتيجة إصابة فروة الرأس والشعر بأنواع خاصة من فطرتي « الترايكوفيتون » (Trichophyton) والميكروسبورم (Microsporum) ، وهى من الفطريات التى تنتمى إلى طائفة الفطريات الناقصة (Deuteromycetes) . من بين طوائف الفطريات الحقيقية (Eumycetes) ، وتمثل أعراض المرض في الرأس بوجود بثرات حشرية مصحوبة باحمرار

وسقوط الشعر ، كما توجد في بعض الأحيان طفححات جلدية عميقة ومتقيحة وتشبه أقراص العسل ، ولذلك فيعرف المرض كذلك باسم « القراع العسلي » .
وتحدث الإصابة بمرض القراع أثناء مرحلة الطفولة في أغلب الأحوال ،
وقلما تحدث بعد طور البلوغ ، وينتقل المرض بواسطة الجراثيم ، إما من
شخص مصاب إلى آخر سليم ، وإما من بعض الحيوانات المستأنسة مثل
القطط والكلاب والماشية والخيول ، كما تعمل كذلك على انتقاله الأمشاط
والفرش وغيرها من أدوات الاستعمال الشخصي ، ويمكن بسهولة معالجة

[جدول ١٣]

بعض الأمراض الفطرية السطحية، متضمنة الأمراض القوبائية ومواقع
الإصابة بها وأنواع مسبباتها الفطرية

اسم المرض	موضع الإصابة	المسبب الفطري
قوباء أصابع القدم [Tinea pedis]	القدم	أنواع من الإيديرموفيتون والترايكوفيتون
قوباء الرأس أو القراع [Tinea capitis]	فروة الرأس	أنواع من الميكروسبوروم والترايكوفيتون
قوباء الجسد [Tinea corporis]	الجلد الأملس للجسد	أنواع من الميكروسبوروم والترايكوفيتون
قوباء الأظافر [Tinea unguium]	أظافر أصابع اليد والقدم	أنواع من الترايكوفيتون
قوباء الذقن [Tinea barbae]	الذقن	أنواع من الميكروسبوروم والترايكوفيتون
إريثرازما [Erythrasma]	إصابة سطحية للجلد ، عادة في الرقبة [خن الورك] أو الإبط	نوع من الفطيرة الشعاعية [نوكارديا]
مرض الأذن الفطري [Otomycosis]	قناة الأذن الخارجية	أنواع من الأسبرجيللاس وغيره من الفطريات الحقيقية .

الإصابة المنتقلة من حيوان ، أما تلك المنتقلة من إنسان فتحتاج إلى علاج أطول وأوفر .

الأمراض الفطرية العميقة أو الجهازية :

تتجاوز الإصابة بهذه الأمراض الجلد إلى المناطق تحت الجلدية ، بل وتتغلغل داخلياً إلى أعضاء وأنسجة الأجساد ذاتها ، وهي تسبب الكثير من الأمراض ، البعض منها خطير والبعض الآخر مميت ، وتنتمي المسببات الفطرية لهذه الأمراض إلى فطريات الخميرة [Blastomycetes] أو الفطريات الشعاعية [Actinomycetes] أو الفطريات الحقيقية [Eumycetes] ، وتتميز فطريات الخميرة المسببة لهذه الأمراض بثنائية تشكّلها ، كما سبق الإشارة إليها ومن أمثلة هذه الأمراض المرض الفطري السبوروتريكي (Sporotrichosis) والمرض الفطري الأسبرجيلي الرئوي [Pulmonary aspergillosis] ، وسنحدث عن كل منهما باختصار .

المرض الفطري السبوروتريكي : يتسبب هذا المرض عن الإصابة بنوع من فطر « السبوروتريكم » (Sporotrichum) ، وهي فطر تنتمي إلى طائفة الفطريات الناقصة من بين طوائف الفطريات الحقيقية . وتمتد الإصابة إلى العقد الليمفاوية ، كما تشمل كذلك الأنسجة الجلدية أو تحت الجلدية للبثرات .

المرض الفطري الأسبرجيلي الرئوي : يتسبب هذا المرض عن الإصابة بنوع من فطر « الأسبرجيلس » (Aspergillus) ، وهي فطر تنتمي إلى طائفة الفطريات الزقية (Ascomycetes) من بين طوائف الفطريات الحقيقية . وتشابه أعراض المرض مع أعراض مرض السل الرئوي ، حيث يكون المرض مصحوباً بسعال وبيصاق مخاطي مختلط غالباً بدم . وفي بعض الحالات لا تتأثر الصحة العامة للمريض نتيجة للإصابة بهذا المرض بالذات ، وفي حالات أخرى تصاحب المرض حمى متردة وتوكسيميا (تسمم دم) واضحة ، ولا يلبث المريض بالتدريج أن يصبح سيئ المزاج ، وقد يؤدي المرض إلى الوفاة .

البابُ العشرون

المضادات الحيوية

المضادات الحيوية (Antibiotics) هي نواتج أيضية - أو مواد كيميائية - تكونها بعض الكائنات الحية الدقيقة إما لإيقاف نمو الميكروبات (من بكتيريا وفيروسات) وإما لقتلها وإذابتها . وتستغل الكائنات هذه المضادات الحيوية لتستطيع أن تنتصر بها في ميدان التنافس على غيرها من الكائنات التي تزارحها المكان أو تشاركها الغذاء ، ويعد لويس باستير أول من استكشف هذه الظاهرة إذ شاهد عام ١٨٧٧ أن الحيوانات إذا حقنت بميكروب الحمرة الخبيثة - المعروف علمياً باسم باسيلس أنثراكيس (*Bacillus anthracis*) - وحده لم يلبث المرض أن يظهر ، أما إذا حقنت بنفس الميكروب مصحوباً ببعض بكتيريا عصوية لا تظهر على الحيوان المحقون أية أعراض للمرض . وفي عام ١٨٨١ لاحظ تندال (Tyndal) أن المزرعة البكتيرية النامية في أنبوبة إذا تلوّث بفطرة البنيسيليام جلاوكم (*Penicillium glaucum*) فلا تلبث البكتيريا النامية في المزرعة الملوثة أن تفقد حيويتها وتسقط صريعة ميتة في قاع الأنبوبة ، ولما كان تندال غير ملم في ذلك الوقت بظاهرة التنافس بين الكائنات الحية فقد فسّر موت البكتيريا بمنع الفطرة إياها من استغلال الأكسجين . وشاهد كثيرون غيرها أن هناك من البكتيريا ما تستطيع أن تقى الحيوان شر الإصابة بمرض الحمرة الخبيثة ، وفيما عدا ما قام به ميتشنيكوف (*Metchnikoff*) من التوصية باستغلال بكتيرة اللاكتوباسيلس (*Lactobacillus*) استغلالاً طيباً لمعالجة مرض الدوسنتاريا ، فقد بقيت هذه الظاهرة لا تعدى المشاهدات حتى أتيح للعالم البكتيريولوجي الانجليزي الكسندر فلمنج (Alexander Fleming) عام ١٩٢٩ أن يستكشف البنيسيلين ، وجاءت الحرب العالمية الثانية فأظهرت ما للبنيسيلين من فوائد جمة في علاج الجنود

المصابين ، وكانت الحرب وويلاتها بمثابة حوافز موجهة للبحوث العلمية ناحية المضادات الحيوية ، فتبين أن هناك الكثير من الكائنات الدقيقة - كالبكتيريا والفطريات الحقيقية والشعاعية والطحالب والأشن - لها القدرة على إنتاج المضادات الحيوية .

ويمكن تقسيم المضادات الحيوية - حسب الكائنات المنتجة لها - إلى الطرز الآتية :

١ - مضادات حيوية بكتيرية ، أى تنتجها البكتيريا ، مثل الباسيترايسين (Bacitracin)

٢ - مضادات حيوية فطرية حقيقية ، مثل البنيسيلين (Penicillin) .

٣ - مضادات حيوية فطرية شعاعية مثل الستربتومايسين (Streptomycin) .
والكلورومايسين (Chloromycetin) والتيراماييسين (Terramycin) والأوريومايسين (Aureomycin) .

٤ - مضادات حيوية طحلبية ، مثل الكلوريللين (Chlorellin) .

٥ - مضادات حيوية أشنية مثل حمض الأسنيك (Usnic acid) والإيفوسين (Evosin) .

والمضادات الحيوية على اختلاف أنواعها لابد وأن تمر بجملة اختبارات خاصة قبل أن تستغل في الطب استغلالاً علاجياً . فإذا ثبت وجود ناتج أبيض مضاد للميكروبات في مزرعة غذائية ينمو عليها كائن من الكائنات الدقيقة فلا بد من عزله وتنقيته والتعرف عليه كيميائياً ، ثم تجربته على أجسام حيوانية - كأجسام الفئران مثلاً - لاختبار مدى سميته للأجسام الحية ، ومعرفة ما إذا كان ذا تأثير على الميكروبات داخل الأجسام الحية كما هو ذو تأثير في المزارع الغذائية . فإذا ثبت عدم سميته للأجسام الحية اختبر تأثير القبح - وما شابهه من إفرازات الجروح - على قوته ، كما يختبر تأثيره على كرات الدم البيضاء وغيرها من أنسجة جسم الإنسان ، وعلى سائر العمليات

الفسيولوجية كعمليات التنفس ونبضات القلب والدورة الدموية وغيرها من العمليات ، وسنتحدث عن بعض المضادات الحيوية المعروفة باختصار .

البنيسيلين

يرجع استكشاف البنيسيلين إلى عام ١٩٢٩ ، عندما كان الكسندر فلمنج يقوم بدراسات على الصفات المزرية لنوع من البكتيريا العنقودية يعرف علمياً باسم « ستافيلوكوكس أوريوس » (Staphylococcus aureus) فوجد أن فطرة دخيلة تسربت إلى المزرعة البكتيرية فأوقفت نمو البكتيرة وسببت إزالتها ، ومن ثم عزل فلمنج الفطرة الدخيلة وتعرف عليها ، ووجد أنها بنيسيليام نوتام (أنظر شكل ٢٠٩) ، واشتق اسم المضاد الحيوى من اسم الفطرة ذاتها ، إذ أسماه البنيسيلين .

ولم يفصل البنيسيلين من المزرعة الفطرية في حالة نقية إلا عام ١٩٤٠ ، حيث قام بفصله كل من العالمين فلورى (Florey) وشين (Chain) ، ووجداه حمضاً ذا وزن جزيئى صغير ، كما وجد أنه يمكن استخلاصه باستعمال الكثير من المذيبات العضوية ، وحين فصل البنيسيلين لأول مرة كان على هيئة مادة صفراء اللون غير متبلورة ، ثم تحسنت طرق الفصل بعد ذلك بحيث أمكن تحضيره على هيئة مادة بيضاء اللون متبلورة . وقد وجد أن هذه المادة هي في الحقيقة خليط من أربعة أنواع من البنيسيلين هي :

١ - بنيسيلين ف (Penicillin F) .

٢ - بنيسيلين ج (Penicillin G) .

٣ - بنيسيلين إكس (Penicillin X) .

٤ - بنيسيلين ك (Penicillin K) .

والتركيب الكيميائى الأساسى للأنواع الأربعة من البنيسيلين هو الحمض العضوى ك_٩ يد_{١١} ك_٢ (ج) ، حيث ترمز (ج) لسلسلة جانبية تختلف

باختلاف أنواع البنيسيلين . وهى تقباين فيما بينها من حيث مميزاتها الكيميائية وتأثيراتها على مختلف الميكروبات واستغلالاتها العلاجية ، فوجد مثلاً أن بنيسيلين (إكس) أقوى تأثيراً فى علاج السيلان من بنيسيلين (ج) ، أما فى علاج الزهرى فيتساوى كل من البنيسيلين (إكس) و (ف) من حيث قوة التأثير ، ثم يليهما بنيسيلين (ك) و (ج) بالترتيب .

ووجد أن البنيسيلين يستطيع إيقاف نمو بعض البكتيريا الممرضة للإنسان ويعمل على شفاء أمراضها ، والمجموعات الآتية من البكتيريا تتأثر بالبنيسيلين :

١ - بكتيريا عصبوية (Bacilli) : مثل الأنواع المسببة لأمراض الدفتيريا (Diphtheria) والجمرة الخبيثة (Anthrax) والتيتانوس (Tetanus) والغنغرينا الغازية (Gas gangrene) . ويتسبب مرض الغنغرينا الغازية عن عدة أنواع من جنس الكلوستريديم (Clostridium) ، وكان ينتج عنه فيما مضى كثير من المضاعفات الخطيرة إبان الحروب . عندما يترك المصابون بالجروح لمدة طويلة، فتتلوث الجروح نتيجة لما يحمله الهواء من جراثيم أنواع الكلوستريديم، فتنفذ هذه الميكروبات خلال الجروح إلى داخل العضو المصاب ، ثم تأخذ فى استيفاء احتياجاتها الغذائية مما فى جسد المصاب من بروتينات، ويتصاعد تبعاً لذلك غاز ، ولا يقتصر ضررها على استنفاد البروتينات بل تفرز سموماً قاتلة إذا سرت فى الجسد أودت به إلى الهلاك ، وكانت الطريقة الوحيدة لإنقاذ الحياة - قبل استكشاف البنيسيلين - هى بتر العضو المصاب.

٢ - بكتيريا كروية ثنائية (Diplococci) : مثل الأنواع المسببة لأمراض التهاب الرئوى (Pneumonia) والالتهاب السحائى (Meningitis) والسيلان (Gonorrhea) ، وتعد ميكروبات التهاب السحائى والسيلان الوحيدة من بين البكتيريا السالبة لصبغة جرام (Gram-negative) التى تتأثر بالبنيسيلين ، أما ما عداها فهى موجبة لصبغة جرام (Gram-positive) .

٣ - بكتيريا عنقودية (Staphylococci) : ومن أنواعها ما تسبب الإسهال (Diarrhea) والدمامل والخراجات والتقيحات الجلدية والتهاب نخاع العظام (Osteomyelitis) .

٤ - بكتيريا سبجية (Streptococci) : ومن أنواعها ما تسبب الحمى القرمزية وحمى النفاس ومرض الحمرة والتهاب اللوز وتسبب الدم والحمى الروماتيزمية والتهابات الكثير من الأعضاء الجسدية (الكلى ، بطانة القلب ، التواء الحلمي ، البريتون ، النسيج الخللي للرحم) .

٥ - بكتيريا منثنية (Spirochetes) : مثل البكتيريا المسببة لمرض الزهري (Syphilis) والحمى الراجعة (Relapsing fever) .

والبنيسيلين غير سام للإنسان والحيوان ، حتى ولو حققت أجسامها بجزعات منه قوية التركيز ، وهو قوى المفعول في إيقاف نمو الميكروبات التي تتأثر به حتى إذا خفف إلى حوالي ١,٠٠٠,٠٠٠ جرام في كل مليلتر ، وهو يستعمل طبيًا بحقنه في العضل - أو كدهان موضعي - وتستغل عادة أملاحه البوتاسيومية أو الصوديومية أو الكالسيومية أو على هيئة بروكاين البنيسيلين (Procaine penicillin) ، وهو قابل للذوبان في الماء والكحول ، ولكن يعمل الأخير على إفساد تأثيره ، كما تعمل الأحماض المعدنية على إبطال مفعوله ، ولذلك لا يستطيع تناوله عن طريق الفم لأن حامضية العصارة المعوية تعمل على إتلافه وإبطال مفعوله .

وتتوقف كمية كل نوع من أنواع البنيسيلين الأربعة في الخليط على ظروف شتى ، منها مثلاً طريقة نمو الغزل الفطري على المحلول الغذائي ومكونات هذا المحلول ، فمن طرق النمو ما يكون فيه الغزل الفطري سطحياً يظل طافياً ومنها ما يكون فيها مغموراً ، فكان بنيسيلين (ف) هو السائد في الخليط في المزارع السطحية التي كانت تستغل لتحضيره في الأعوام الأولى من الحرب العالمية الثانية ، وكانت الفطرة الوحيدة المستغلة حينذاك هي نفس سلالة البنيسيليام نوتام التي عزلها فلمنج ، إذ كان يعتقد أنها الفطرة الوحيدة القادرة على إنتاج البنيسيلين ، ثم تبين بعد ذلك أن هناك سلالات أخرى من نفس الفطرة لها القدرة على إنتاج البنيسيلين ، ومالبث أن استكشف نوع آخر من البنيسيليام - هو بنيسيليام كريسوجينام (Penicillium chrysogenum)

ثبتت قدرته كذلك على إنتاجه بقدر وفير ، وأستبدلت طريقة المزرعة السطحية بطريقة جديدة هى المزرعة المغمورة ، فعملت الطريقة الأخيرة على زيادة إنتاج البنيسيلين - لاسيما البنيسيلين (ج) أو البنيسيلين التجارى - زيادة كبيرة .

ثم أظهرت الأبحاث أن إنتاج البنيسيلين لا يقتصر على أنواع فطره البنيسيليام بل أن هناك أنواع من فطره الأسبرجيللس لها القدرة على إنتاج مشتقات فعالة من بنيسيلين (ف) ، مثل ثنائى هيدرو البنيسيلين ف (Dihydro penicillin F) - الذى يعرف أيضاً باسم حمض الجيجانتيك (Gigantic acid) تنتجه فطره الأسبرجيللس جيجانتيس (*Aspergillus giganteus*) ، و طراز آخر من بنيسيلين (ف) يعرف باسم الفلافيسين (Flavicin) تنتجه فطره الأسبرجيللس فلافس (*Aspergillus flavus*) .

وبجانب ما ذكر من أنواع البنيسيلين ، أكتشف نوع آخر جديد يعرف باسم (Penicillin V) - أو فينوكسى ميثيل البنيسيلين (Phenoxymethyl penicillin) ، وهو يستغل طبياً فى الولايات المتحدة الأمريكية منذ عام ١٩٥٥ . ويتميز عن الأنواع السابقة من البنيسيلين بعدم تأثره بالأحماض المعدنية ، ولذلك فيمكن استعماله عن طريق التجرع بالفم ، إذ لا يتأثر بحامضية العصارة المعدية ، كما أنه يضارع غيره من أنواع البنيسيلين من حيث تأثيراته العلاجية .

الستربتومايسين

فصل الستربتومايسين (*Streptomycin*) من المزرعة الصناعية التى تنمو عليها بعض سلالات من الفطره الشعاعية ، التى تعرف علمياً باسم « ستربتومايسيس جريسيس » (*Streptomyces griseus*) ، وقام بفصل هذه الفطره الشعاعية واكسيمان ومعاونوه عام ١٩٤٤ .

ووجد أن الستربتومايسين يعمل على إيقاف نمو الكثير من البكتيريا التي لا تتأثر بمركبات السلفانيميد والبنيسيلين ، فهو يؤثر على بعض البكتيريا سالبة الجرام كالمسببة لحمى الأرانب والتيفوئيد ، كما يؤثر على البكتيريا المسببة لأمراض الدرن (السل) والدوسنتاريا الباسيلية والتسمم الغذائي . والستربتومايسين -- إذا كان تام النقاوة -- غير سام للإنسان والحيوان عندما يستعمل بجرعات قليلة ، أما إذا استعمل بكثرة وفترات طويلة نتج عن توالى تراكمه وازدياد تركيزه داخل الأجسام إتلاف العصب الجمجمي الثامن ، مما يؤدي إلى الصمم . والتركيب الكيميائي للستربتومايسين هو : (ك ٢١٢٩ يد ٢٠٣٩ ن ٧)

الكلورومايسيتين

يتميز الكلورومايسيتين (Chloromycetin) - ويعرف أيضاً باسم الكلورامفينيكول (Chloramphenicol) - عن البنيسيلين والستربتومايسين بمدى تأثيره الواسع على مجموعات متباينة من الميكروبات ، إذ يؤثر على كثير من البكتيريا سالبة والموجبة لصبغة جرام والبكتيريا المثنية والرايكيتسيات (Rickettsiales) والفيروسات . والرايكيتسيات هي رتبة خاصة من البكتيريا غير الحقيقية ، أصغر حجماً من البكتيريا الحقيقية وتتخذ أشكالها العصوية والكروية والحلزونية ، ولكنها إجبارية التطفل ، إذ تستلزم دورة حياتها وجود عائل حيواني وسطي لكي تنتقل منه لتصيب الإنسان ، مثل مرض التيفوس الذي ينتقل إلى الإنسان عن طريق براغيث الفئران أو قمل الإنسان . ويمتاز الكلورومايسيتين بنوع خاص بقدرته على معالجة حمى التيفوئيد . وأول من استكشف الفطرة الشعاعية المنتجة له هو بيركهولدر (Burkholder) عام ١٩٤٧ ، عزلها من عينة من التربة جمعها من أرض فينزويلا . ومن ثم أعطى لنوع الفطرة السبحية التي تنتجها اسم ستربتومايسيس فينزويلي (Streptomyes venezulae) .

وبالإضافة إلى الكلورومايسيتين ، يوجد مضادان حيويان آخران تنتجهما أنواع أخرى من الفطرة السبحية ، أحدهما الأوريومايسين (Aureomycin) الذي تنتجه الفطرة الشعاعية ستربتومايسيس أوريوفاسيانس

(Streptomyces aureofaciens) ، والآخر هو التيراميسين (Tetramycin) الذى ينتجه الاستربتوميسيس ريموسس (Streptomyces rimosus) ، وكلاهما يشبه الكلورومايسيتين من حيث مدى التأثير الواسع على مجموعات متباينة من الميكروبات ، إلا أنهما يختلفان عنه من حيث التركيب الكيميائى ، إذ أن كلا منهما يعد أحد مشتقات التتراسيكلين (Tetracycline) ، فالأوريوميسين هو كاوروبوتراسيكلين (Chlorotetracycline) والتيراميسين هو أوكسى تراسيكلين (Oxytetracycline) ، أما المضاد الحيوى التراسيكلين - الذى يعرف تجارياً باسم الأكرومايسين (Achromycin) فيحضر كيميائياً من الأوريوميسين بنزع الكلور منه .

مضادات حيوية أخرى

فصل كثير من المضادات الحيوية من المزارع الغذائية التى تنمو عليها بعض أنواع البكتيريا العصوية الهوائية الموجبة لصبغة جرام والمكونة للجراثيم الداخلية من طراز « باسيلس » (Bacillus subtilis) ، وأبرزها هو الباسيتراميسين (Bacitracin) الذى اكتشفه ميلينى (Meleney) عام ١٩٤٥ ، واشتق اسم هذا المضاد الحيوى من اسمى البكتيرة (باسيلس) وتراسى (Tracy) ، وهو المريض الذى عزلت البكتيرة من جرحه . وأمكن تحضير الباسيتراميسين على هيئة مسحوق أصفر يذوب فى الماء ، وهو يشبه البينيسيلين من حيث إمكان استغلاله طبياً لمعالجة الأمراض المسببة عن البكتيريا الموجبة لصبغة جرام ، كما يؤثر على البكتيريا المسببة لأمراض الالتهاب السحائى والسيلان والزهرى .

وقد فصلت من بعض الأشن مضادات حيوية على أكبر جانب من الأهمية ، فن أشنة « أسنيا برباتا » (Usnea barbata) فصل حمض الأسنيك (Usnic acid) الذى يعمل على إيقاف نمو ميكروب السل حتى إذا خفف بالماء بنسبة (١ : ١٦٠٠٠٠) ، وفصلت من أشنة أخرى مادة الإيفوسين (Evosin) التى تعمل على إيقاف نمو ميكروب السل حتى إذا خففت بنسبة (١ : ٢٠٠٠٠٠٠) .

الباب الحادي والعشرون

الأرشيغونيات

تتميز الأرشيغونيات (Archegoniatae) بوجود عضو جنسي أنثوي يعرف بالأرشيغونة (Archegonium) ، يتكون من جزءين رئيسيين : جزء سفلي متفتح

(شكل ٢٢٤)



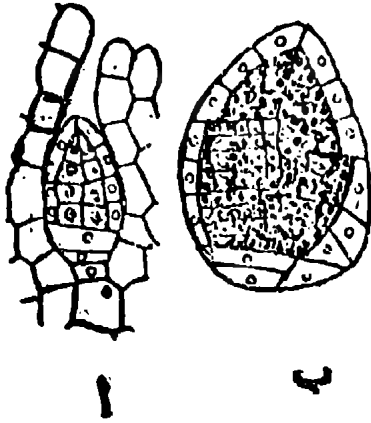
يعرف بالبطن (Venter) وجزء علوي مستطيل يسمى العنق (Neck) . أما البطن (شكل ٢٢٤) فتحتوى بداخلها على خليتين ، إحداهما المشيج الأنثوي أو البيضة (Ovum or oosphere) والأخرى الخلية القنوية البطنية (Ventral canal cell) ، ويستقر بداخل العنق صف من الخلايا القنوية العنقية (Neck canal cells) ، ويحيط بالأرشيغونة جدار من خلايا عقيمة يعرف بالجدار الأرشيغوني (Archegonial wall) .

قطاعات طولية و أجزاء من النبات الشيجي لإحدى الأرشيغونيات (الفوناريا) تبين : (أ) قطاع طولى في طرف النبات حيث تنظم الأرشيغونات ، (ب) قطاع طولى في الأرشيغونة وترى بداخلها البيضة (ب) والخلية القنوية البطنية (د ، ط) والخلايا القنوية العنقية (ج ، ح) ، (ج) المظهر الخارجى لطرف عنق الأرشيغونة (من حيث)

وتتميز الأرشيغونيات أيضاً بوجود عضو جنسي ذكرى متخصص متعدد الخلايا (شكل ٢٢٥) يعرف بالأنثريدة (Antheridium) ، كروى الشكل أو بيضى ، وتتكون كل أنثريدة من جدار خارجى عقيم — هو الجدار الأنثريدى (Antheridial wall) — يحوى بداخله عدداً كبيراً من الخلايا الوالدة للسباحات الذكورية (Sperm mother cells) ، وتعرف مجموعة هذه

الخلايا الوالدة بالنسيج الموالد للساجحات الذكرية (Spermatogenous tissue) ، وتكون الأنثريدة إما معنقة أو جالسة حسب أجناس الأرشيجونيات وأنواعها. وعندما يكتمل نضج الأنثريدة تنقسم محتويات كل خلية والدة إلى ساجحة ذكرية (Spermatozoid) أو أكثر ، كل واحدة منها ثنائية أو عديدة الأهداب بحسب الأنواع المختلفة للأرشيجونيات ، وتحرر كل ساجحة ذكرية وتسبح في وجود الماء - بفضل ما تملك من أهداب - حتى تصل إلى الأرشيجونة لإتمام عملية الإخصاب (Fertilization) .

(شكل ٢٢٥)



الأثرريدة في نبات (أ) الرميا :
(أ) اطام في التالوس تروى فيه الأثرريدة
بين الخيوط التمثيلية ، (ب) فطام في
أثرريدة مكبرة وبرى العنق عند الفاهدة
والجدار الخارجى المقيم يحيط بالخلايا
الوالدة للساجحات الذكرية (مرسجة) .

ويعرف طور النبات الأرشيجونى المنتج للأعضاء الجنسية - من أرشيجونات وأنثريدات - بالطور المشيجى (Gametophytic generation) أو النبات المشيجى (Gametophyte) ، وعندما تنضج الأرشيجونة - وتصبح على أهبة الإخصاب - تنحل الخلايا القنوية العنقية. وينتج عن انحلالها تكوين مادة هلامية ، تبرز من عنق الأرشيجونة ، وتنبعث منها رائحة خاصة تجذب إليها الساجحات الذكرية جذباً كيميائياً. وتتخذ الساجحات الذكرية طريقها داخل الممر المتكون في عنق الأرشيجونة - نتيجة لانحلال الخلايا القنوية العنقية - حتى تصل إلى البيضة ويتم الإخصاب ، وتعرف البيضة المخصبة حينئذ باللاقحة (Zygote) .

ويكون النبات أو الطور المشيجى - بما يحمل من أعضاء جنسية وينتج من أمشاج (ساجحات ذكرية وبيضات) - أحادى المجموعة الصبغية (Haploid) وعند إتمام الإخصاب تندمج نواتا الساجحة الذكرية والبيضة فتصبح اللاقحة

بذلك ثنائية المجموعة الصبغية (Diploid) . وتعد اللاقحة بمثابة بدء طور آخر جديد في دورة الحياة - يتبادل باستمرار مع الطور المشيجي - ويعرف بالطور الجرثومي (Sporophytic generation) أو النبات الجرثومي (Sporophyte) وتنقسم اللاقحة وتتميز الخلايا الناتجة - وجميعها ثنائية المجموعة الصبغية - لتكوين الطور الجرثومي (البوغي) .

ويكون الطور الجرثومي في الأرشيجونيات البدائية على درجة كبيرة من البساطة في المظهر والتركيب ، حيث تحيط اللاقحة نفسها بجدار عقيم ، وتنقسم محتوياتها الداخلية إلى عدد كبير من الخلايا الوالدة للجراثيم (Spore mother cells) ، وتنقسم نواة كل خلية والدة مرتين - أولهما انقسام اختزالي - لتكون أربع أنوية أحادية المجموعة الصبغية ، ثم تحاط كل نواة بجدار لتكوين جرثومة وتبدو الجراثيم مرتبة في رباعيات (Tetrads) . وتتححر كل جرثومة وتنتثر لتنبث - تحت الظروف المناسبة - وتعطى نباتاً مشيجياً أحادى المجموعة الصبغية ، كالجرثومة التي نبت منها ، وهكذا يعيد النبات الأرشيجوني دورة الحياة .

ويعرف النسيج الذي تتكون منه الجراثيم بالنسيج المولد للجراثيم (Sporogenous tissue or archesporium) ومع أن هذا النسيج يكاد يشغل جميع الفراغ الداخلى لللاقحة في الأطوار الجرثومية للأرشيجونيات البدائية فالطور الجرثومي يأخذ في التعقيد - مظهرياً وتركيبياً - في الأنواع الراقية ، حيث تفقد بعض الخلايا - الناتجة عن انقسام اللاقحة - قدرتها على إنتاج الجراثيم ، وتتحوّر وتتخذ أشكالاً شتى لتكوين أنسجة عقيمة تقوم بوظائف مختلفة للنبات الجرثومي كالتدعيم والتوصيل والتخزين . ويقتصر تكوين الجراثيم على أجزاء محدودة من النبات الجرثومي في أكثر الأرشيجونيات رقياً .

وهكذا ، فبجانب تكوين الأرشيجونات والأنثريدات ، توجد صفة ثالثة هامة في الأرشيجونيات هي وجود طورين متميزين في دورة حياة النبات ،

طور مشيجي يحمل الأعضاء الجنسية وينتج الأمشاج ، وطور آخر يتبادل معه باستمرار هو الطور الجرثومي . ويتبادل هذان الطوران بانتظام في جميع الأرشيجونيات ، وتعرف هذه الصفة بظاهرة تبادل الأجيال (Alternation of generations) ، وتصاحب التبادل المظهرى للطورين المشيجي والجرثومي دورة نووية (Nuclear cycle) حيث ينتصف عدد الصبغيات (أو الكروموسومات) عند تكوين النبات المشيجي ويتضاعف في النبات الجرثومي . فخلايا النبات المشيجي والأمشاج - من سباحات ذكورية وبيضات أحادية المجموعة الصبغية ، بمعنى أنها تحتوى نصف عدد الصبغيات التي تحتوها خلايا النبات الجرثومي ، ويرمز لها بالحرف (ن) . وتندمج نواتا السابحة الذكورية والبيضة عند الإخصاب لتكوين نواة اللاقحة ذات المجموعة الصبغية الثنائية ، ويرمز لها بالرمز (٢ ن) ، وبتوالى انقسام اللاقحة يتميز نبات جرثومي جميع خلاياه ثنائية المجموعة الصبغية ، والخلايا الوالدة الجرثومية تكون ثنائية المجموعة الصبغية ، وتنقسم نواة كل خلية منها مرتين - أولهما انقسام اختزالي - تنتصف به عدد الصبغيات في كل جرثومة ، وتصبح كل جرثومة بذلك أحادية المجموعة الصبغية ، وتعطى كل جرثومة بدورها عند الإنبات مشيجياً أحادى المجموعة الصبغية ، وهكذا تصاحب الدورة النووية ظاهرة تبادل الأجيال في جميع مراتب الأرشيجونيات .

ومع أن ظاهرة تبادل الأجيال قد تحدث في النباتات الثالوسية - من طحلبية أو فطرية - فإنها غير منتظمة ، أما في الأرشيجونيات فهي منتظمة ودائمة الحدوث .

ويختلف مدى التوازن بين الطورين المشيجي والجرثومي - من حيث سيادة أحدهما وضمور الآخر - باختلاف مراتب الأرشيجونيات ، وتنقسم الأرشيجونيات حسب هذه السيادة النسبية إلى الأقسام الآتية :

١ - النباتات الهباتية (Hepatophyta) والحزازية (Bryophyta) .

٢ - البتيريات أو النباتات البتيرية (Pterophyta) .

٣ - عاريات البذور (Gymnosperms) .

ففي النباتات الحزازية يكون الطور المشيجي هو الطور المزدهر والسائد في دورة الحياة ، وهو الذي يمثل النبات ذاته ، بينما يظل الطور الجرثومي ضامراً ومتطفلاً طول حياته على الطور المشيجي السائد . أما النباتات البتيرية وعاريات البذور فينعكس فيهما التوازن بين الطورين ، بمعنى سيادة الطور الجرثومي الذي يمثل النبات ذاته ، بينما يظل الطور المشيجي ضامراً للغاية ، وتتميز عاريات البذور عن النباتات التريدية بقدرتها على تكوين البذور ، وسندرس بشيء من التفصيل كل قسم على حدة .

ويمكن تلخيص ما سنتناوله في الأبواب التالية من أجناس الأرشييجونيات كالآتي :

هباتيات وحزازيات	هباتيات (نباتات كبدية) : ريشيا وماركانتيا . (حزازيات قائمة) : فيوناريا .
بتيريات	(أ) متشابهة الجراثيم : السرخسيات : كزبرة البئر (ب) متباينة الجراثيم : الرصنيات : الرصن
عاريات البذور	انصنوبر .

الباب الثاني والعشرون

النباتات الحزازية

تتميز النباتات الهباتية أو الكبديّة (Hepaticae or Liverworts) والحزازية (Bryophyta) بسيادة الطور المشيجي ، الذي يمثل النبات ، أما الطور الجرثومي فيكون على أكبر درجة من الضمور ويستمر طول حياته معتمداً ومتطفلاً على النبات المشيجي ، ويفتقر هذان القسمان إلى الجذور ويمتص أفرادهما الماء عن طريق جسم الثالوس ، وكانت النباتات الكبديّة تعرف من قبل باسم « الحزازيات المنبطحه » ، بينما كانت النباتات الحزازية تسمى « الحزازيات القائمة » (Musci or Mosses) .

والفرق الأساسي بين الهباتيات والحزازيات هو طريقة إنبات الجرثومة ، ففي الهباتيات تثبت الجرثومة لتعطي مباشرة النبات المشيجي ، أما في الحزازيات فتثبت الجرثومة لتعطي طوراً خيطياً متفرعاً يسمى الخيط الأولي أو البروتونيما (Protonema) ، وتظهر عليه عدة براعم ، ينمو كل برعم منها إلى نبات مشيجي . وتختلف الهباتيات أيضاً عن الحزازيات من حيث تركيب النباتات المشيجية ، إذ يكون فيها النبات المشيجي منبطحاً على سطح الأرض ، ثالومياً (Thalloid) أو ورقياً (Leafy) ، وفي الأنواع الثالوسية لا تتميز ساق أو جذور أو أوراق . أما النبات المشيجي في الحزازيات فيكون في الغالب قائماً ، كما يكون ورقياً على الدوام ، أي يتميز خارجياً إلى ساق وأوراق .

وتختلف النباتات المشيجية الورقية في الهباتيات عنها في الحزازيات ففي الأولى تكون الساق منبطحاً وتنظم عليها الأوراق في صفين ، أما في الحزازيات فتكون الساق قائمة وتنظم عليها الأوراق عادة في ثلاثة صفوف . وتعد الهباتيات والحزازيات في الحقيقة نباتات أرضية ، ولكنها

تشابه البرمائيات بين أقسام الحيوان من حيث أنها تتطلب وجود الماء في بعض مراحل حياتها لكي تتم عملية الإخصاب ، وتعيش كثرة منها في المناطق الاستوائية وبعضها نباتات مائية .

وسندرس كمثالين للنباتات الهباتية (أى النباتات الكبدية) الريشيا (Riccia) والماركانتيا (Marchantia) ، وفيهما يكون النبات المشيجي ثالوسيا ، وكمثل للحزازيات الفيوناريا (Funaria) ، وفيها يكون النبات المشيجي ورقيا .

أولا : النباتات الهباتية (الكبدية)

الريشيا

يمثل الطور السائد في الريشيا النبات المشيجي (Gametophyte) ، الذي يوجد عادة على سطح التربة الرطبة ، فينمو على شاطئ النيل وفي الحدائق وتحت الأشجار وفي الأصص . ويتكون من ثالوس أخضر مفلطح دائري الشكل (شكل ٢٢٦) يتفرع تفرعا ثنائى الشعب ، ويتميز الجزء الوسطى منه بانتفاخه إلى حد ما ليكون ما يشبه العرق الوسطى . ويتصل الثالوس بالتربة أو بالطبقة التحتية بأشباه جذور (Rhizoids) وبحراشيف (Scales) ،

(شكل ٢٢٦)

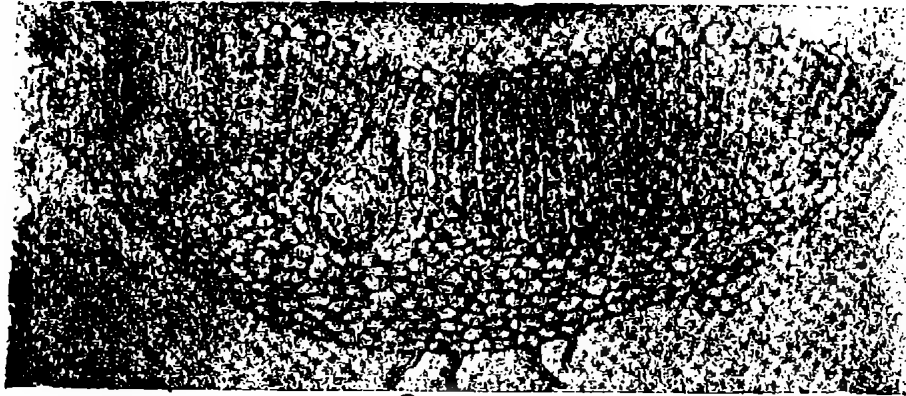


منظر خارجي للطور المشيجي
في الريشيا (عن سميث)

وتنتظم الحراشيف على السطح السفلي للثالوس في صفين ، وهي متعددة الخلايا ، أما أشباه الجذور فوحيدة الخلية وتوجد بكثرة بين صفى الحراشيف وتبرز إلى داخل أشباه الجذور تتواءمات تعمل على دوام انتفاخها ، ومن ثم فتعرف بأشياء الجذور المتدرة (Tuberculate rhizoids) . وتقوم أشباه الجذور والحراشيف بتثبيت النبات ، كما تعمل على امتصاص ماء التربة بما يحمل من أملاح .

ومع أن الثالوس - أو النبات المشيجي - لا يتشكل خارجياً إلى أعضاء ،
أى جذور وسيقان وأوراق ، فإنه يتميز داخلياً إلى نسيجين (شكل ٢٢٧) ،
أحدهما علوى ويعرف بالنسيج التمثيلي (Assimilating tissue) والآخر
سفلى ويعرف بالنسيج التخزيني (Storage tissue) . أما النسيج التمثيلي
فيتكون من خيوط تمثيلية (Assimilating filaments) ، تفصل ما بينها
قنوات هوائية ، ويتكون كل خيط تمثيلي من صف من خلايا غنية بالبلاستيدات
الخضراء . وفي بعض أنواع الريشيا لا توجد بلاستيدات خضراء في الخلايا
السطحية للخيوط التمثيلية ، بل تكون تلك الخلايا بشرة علوية ، وقد تظل
خلاياها متجاورة ومنفصلة أو تلتصق جنباً إلى جنب لتكون بشرة متصلة .

(شكل ٢٢٧)

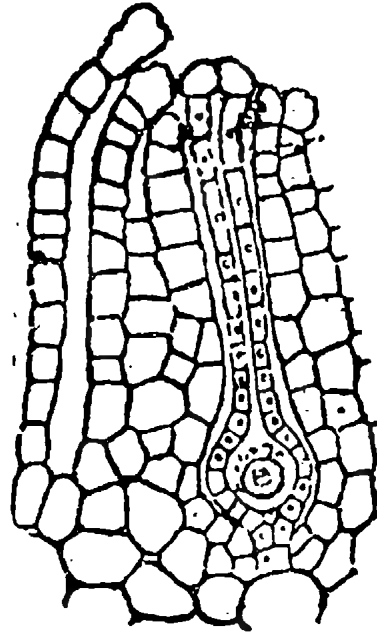


قطاع في الطور المشيجي لنبات ريشيا جلاروكا (عن سميت)

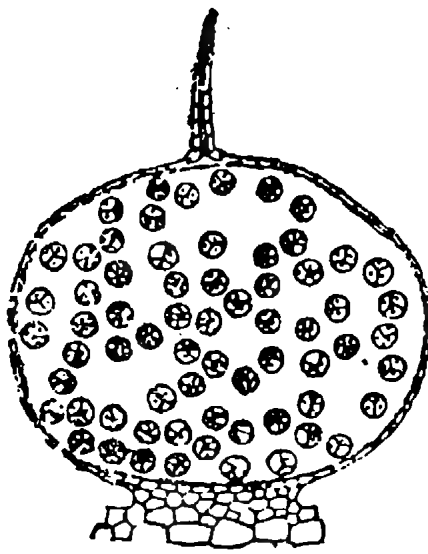
التناسل الجنسي : النبات المشيجي وحيد المسكن (Monoecious) .
بمعنى أنه يحمل الانثريدات والأرشيغونات معاً ، وتستقر هذه الأعضاء
الجنسية عند قواعد بعض القنوات الهوائية بين الخيوط التمثيلية (شكل ٢٢٧
٢٢٨) ، وعند اكتمال نضج الأنثريدة تعطى كل خلية والدة سابحتين ذكريتين
كل واحدة منهما كثرية الشكل لها هديبان عند طرفها المدبب . أما الأرشيغونة
فعند نضجها (شكل ٢١٨) تأخذ خلاياها القنوية العنقية في الانحلال وتتحول
بالتدريج إلى مادة هلامية تبرز من عنق الأرشيغونة ، وتعد موجهة للسباحات

الذكورية التي تنجذب إليها انجذاباً كيميائياً ، فتتحرك السابحات الذكورية في وجود الماء حتى تصل إلى عنق الأرشيجونة وتتقدم داخل القناة - المتخلقة عن انحلال الخلايا القنوية العنقية - حتى تصل إلى البيضة فتلقحها ويتم الإخصاب ، وتعد اللاقحة - أو البيضة المخصبة - بمثابة بداية الطور التالي في دورة الحياة ، وهو النبات الجرثومي (شكل ٢٢٩) .

(شكل ٢٢٨)



(شكل ٢٢٩)



إطام في النبات الجرثومي لريشيا
تتميز بداخله الخلايا الوالدة الجرثومية
والرءاءات الجرثومية ، وترى بقعة عنق
الأرشيجونة عند القمة (عن هويت) .

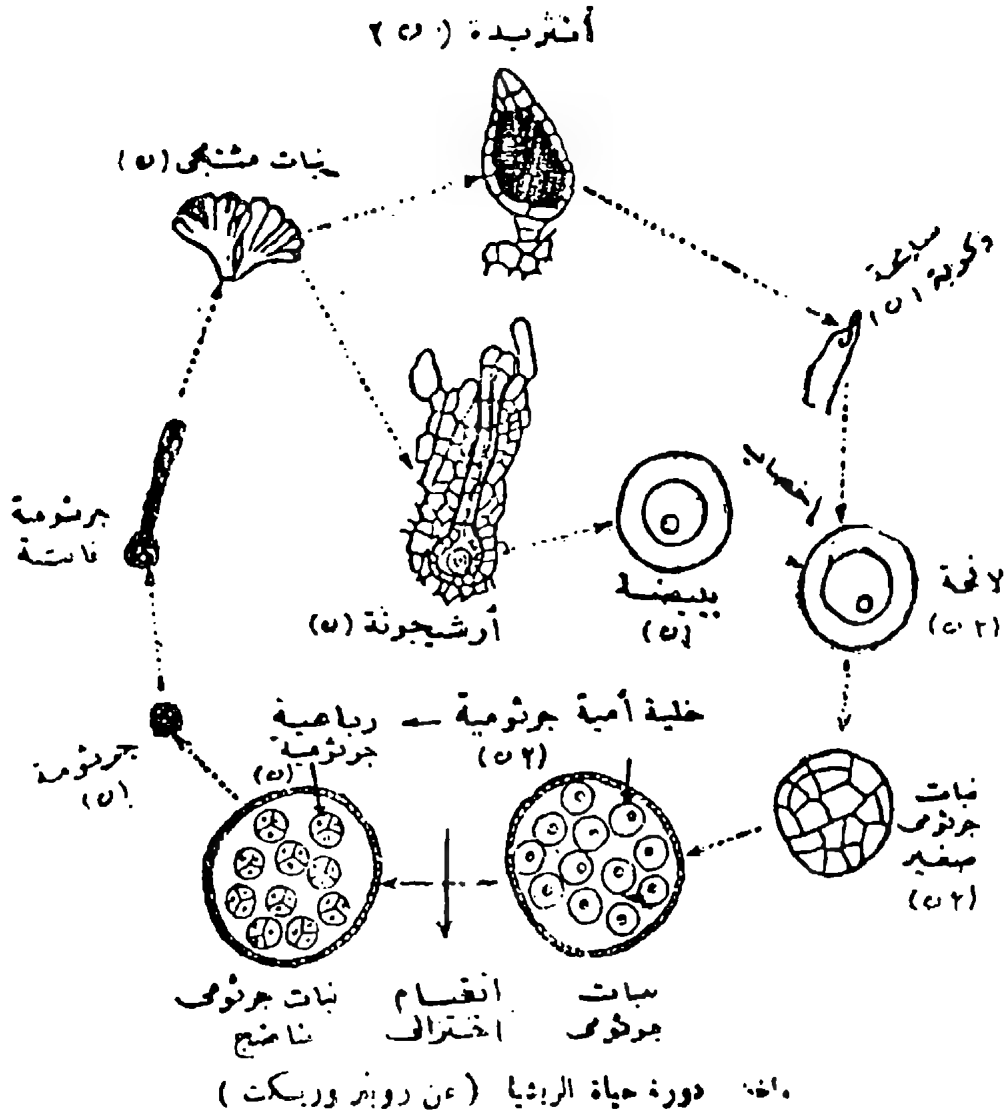
جزء من لاطاع مستعرض في الطور
المشجى لريشيا ، بين أرشيجونة ثم
نضجها ، وأحانات السابحات الذكورية
بالبيضة لإتمام عملية الإخصاب .

النبات الجرثومي (Sporogonium or Sporophyte) : يمثل النبات

الجرثومي أبسط النباتات الجرثومية بين الأرشيجونيات جميعاً ، إذ لا تلبث
اللاقحة أن تحاط بجدار عقيم وتنقسم محتوياتها الداخلية إلى عدد من الخلايا
الوالدة الجرثومية ، تنقسم كل خلية منها مرتين لتعطي أربع جراثيم أو رباعية
جرثومية (Spore tetrad) . ويبقى النبات الجرثومي - على هيئة كرة ذات

جدار عقيم بداخله الجراثيم - محصوراً داخل الجدار الأرضيوني (Calyptra) ومطموراً في الثالوس ، ويدوى عنق الأرضيونة في جزئه العلوى ويتخذ لونا بنيا داكنا. وتبدو النباتات الجرثومية من الخارج كبقع بنية اللون داخل الثالوس ، ويستمر الطور الجرثومى متطفلا على النبات المشيجى تطفلا تاماً ما بقى الأخير حياً، فليست هناك آلية خاصة لتمزيق وانفتاح النبات الجرثومى وتحرير ما بداخله من جراثيم، ولكن تتحرر الجراثيم فقط عندما يموت النبات المشيجى أو ينحل أو يتمزق جدار النبات الجرثومى بسبب تعرضه تعرضاً مباشراً للمؤثرات الخارجية .

ولكل جرثومة جداران ، جدار خارجى (Exine) غليظ معتم اللون (شكل ٢٣٠)



وجدار داخلي (Intine) عديم اللون ورقيق ، وعند إنبات الجرثومة - في الظروف المناسبة - يتمزق الجدار الخارجي ويستطيل الجدار الداخلي ويمتد ليكون أنبوبة تعرف بأنبوبة الإنبات (Germ tube) ، توالى الاستطالة والانقسام والانبساط حتى تكون نباتاً مشيجاً جديداً وتعيد دورة الحياة (شكل ٢٣٠) .

الماركانتيا

النبات المشيجي في الماركانتيا (Marchantia) - كما في (شكل ٢٣١)

(شكل ٢٣١)



ماركانتيا (Marchantia sp.) أ - نبات ذكرى . ب - نبات أنثوى .

(شكل ٢٣٢)



ماركانتيا بوليمورفا (Marchantia Polymorpha) . أ - نبات مشيجي أنثوي
يشمل حوامل أرشيكونية (ش) ذات أعمار مختلفة وكأسين جيمييين (ك) حجم طبيعي
ب - منظر السطح الأسفل لحامل أرشيكوني يبين ف = فصوص ، سم = ستاركاذب ،
ج = كيس جرثوي . ج = قطاع طولى فى حامل أرشيكوني : د = قطاع طولى فى نبات
جرثوى صغير . يتكون من : ق = قدم ، نج = نسيج جرثوى ، جع = جدار
علية ، جش = جدار أرشيكونية عش = عنق أرشيكونية ، غك = غلاف كاذب .
هـ - كيس جرثوى معنق وممزق يحتوى على جل = أجراثيم وناثرات ، و = ناثر واحد ،
ز = جرثومه كاملة النضج محتوية على مواد غذائية مخزونة محتوية على هيئة نقططات .

يشبه إلى حد ما نظيره في الريشيا، إلا أنه أكبر منه حجماً، فهو ثالوسى مفلطح منتفخ في الوسط ، يتفرع تفرعا ثنائى الشعب ، وتتميز على سطحه العلوى مساحات سداسية تحدد أشكال ما تحتها من حجرات تمثيلية (Assimilating chambers) ، وتتوسط كل مساحة فتحة تصل ما بين الحجرة والخارج .

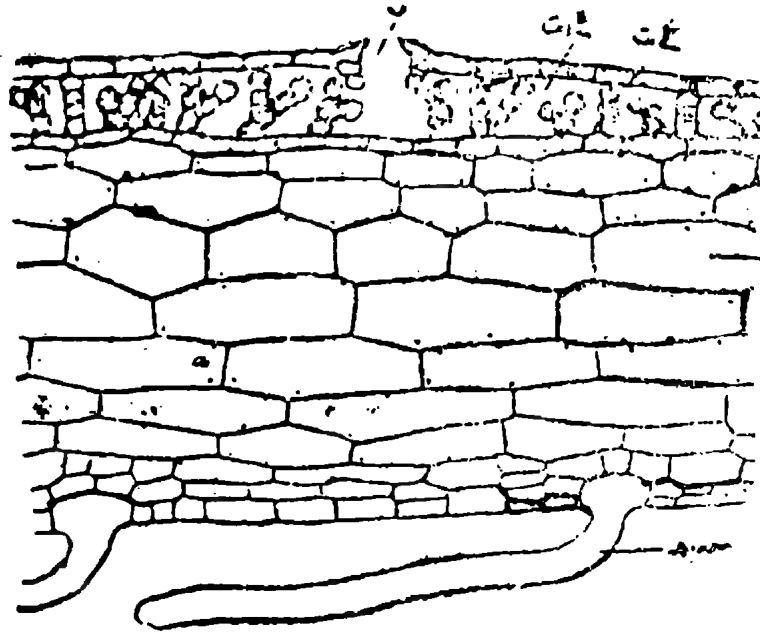
تركيب الثالوس :

يتميز الثالوس داخلياً - كما هو الحال في الريشيا - إلى نسيج تمثيلي علوى وآخر تخزينى سفلى ، إلا أن الخيوط التمثيلية توجد داخل حجرات تمثيلية ، وتتصل كل حجرة بالخارج عن طريق فتحة في سقفها العلوى (شكل ٢٣٣) ، وتتخذ هذه الفتحة شكل قناة قصيرة محاطة بجدار من صفوف رأسية من الخلايا ، وهى مفتوحة على الدوام وتقابل الثغور في النباتات الراقية . وخلايا البشرة تكون خالية تماماً من البلاستيدات الخضراء ، التى يقتصر وجودها على الخيوط التمثيلية المكونة للنسيج التمثيل الرئيسى للثالوس ، وتفصل الحجرات التمثيلية عن بعضها البعض حواجز رقيقة ، أما النسيج التخزينى فيتكون أساسياً من خلايا شبه بارانشيمية ، وهو خال من البلاستيدات الخضراء ، ويحتوى على أجسام لامعة مليئة بالقطرات الزيتية ، ويغطى السطح السفلى ببشرة سفلية تنشق منها أشباه جذور وحرشيف .

طرق التكاثر :

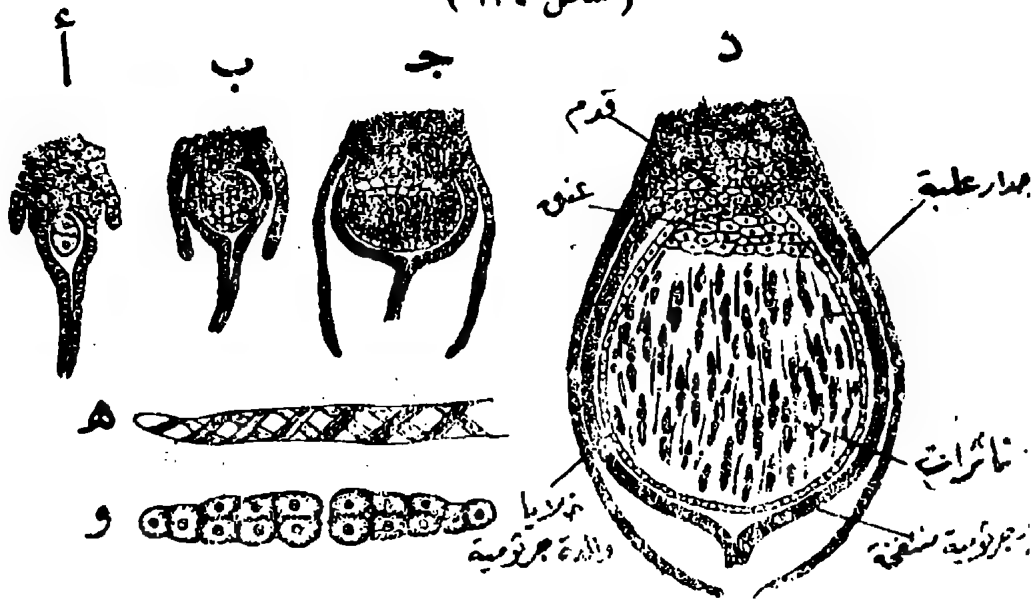
هناك نوعان من التكاثر ، تكاثر خضرى وتناسل جنسى ، ويحدث التكاثر الخضرى بإحدى طريقتين : التفتت (Fragmentation) ، أو تكوين أعضاء خاصة تعرف بالجيمات (Gemmae) ، أما التفتت فيحدث بانقسام الثالوس إلى عدد من الوحدات ، نستطيع كل وحدة منها أن تنمو لتعطى نباتاً مشيجياً جديداً . أما الجيمات فتعد بمثابة بروتات من السطح الظهري للثالوس ، وتوجد داخل كؤوس خاصة تعرف بالكؤوس الجيمية (Gemmae cups) ، تنتظم عادة على السطح العلوى للثالوس (شكلا ٢٣١ ، ٢٣٢) ،

(شكل ٢٣٣)



قطاع مسعرض للنبات المشيجي الماركانتيا بين الحجرة الثقبيلة (خ . غ . ث) بداخلها
التيوط الثقبيلة (خ . غ . ث) ، وتظهر كل حجرة فتحة (ف) ، والذبيج التخريبي (س . ث) ،
وتتفرق أشباه جذور (ش . ج) من السطح السفلي (من هوبت) .

(شكل ٢٣٤)



مراحل تكوين الطور الجرثومي في الماركانتيا (Marchantia sp.) أ - الانقسام
الأول للزيجوت (اللاقحة) ، ب - جنين متعدد الخلايا ، ج - جنين أكبر سناً، القدم بدأت
في اختراق نسيج النبات المشيجي وخلايا العنق تميزت ، د - نبات جرثومي ناضج . هـ - جزء
من إحدى الناترات ، و - مجموعة من الخلايا الوالدة للجراثيم مكبرة .

وتنفصل كل جيمة لتعطي مباشرة ثالوساً جديداً .

التناسل الجنسي :

تختلف الماركانتيا عن الريشيا في عدم انتظام الأعضاء الجنسية مباشرة على الثالوس ، بل توجد على زوائد قائمة تخرج من السطح العلوى للثالوس ، وتعرف بحوامل الأعضاء الجنسية : وتتميز إلى حوامل أنثريدية (Antheri-diophores) وحوامل أرشييجونية (Archegoniophores) بحسب ما إذا كانت حاملة للأنثريدات أو للأرشييجونات ، ويتكون كل حامل من ساق أسطوانية الشكل تنهى بقرص منتفخ في أعلاها .

الحامل الأنثريدى : يكون قرص الحامل الأنثريدى مفصصاً ، به تسعة فصوص غالباً ، وتنظم الأنثريدات داخل تجاويف في خطوط قطرية على السطح العلوى للقرص (شكل ٢٣١ أ) . ولما كانت البثرات التى بين الفصوص تمثل القمم النامية للقرص ، فإن أحدث الأنثريدات سناً وأصغرها حجماً تكون أقربها من حافة القرص ، وتزداد في الحجم والسن بالتدرج كلما اتجهنا نحو المركز .

الحامل الأرشييجونى : يكون الحامل الأرشييجونى أكبر حجماً من الحامل الأنثريدى ، وفيه تستطيل الفصوص عند حافة القرص لتكون زوائد شبيهة بأصابع اليد ، وتنحني البثرات - أو القمم النامية - إلى أسفل القرص أثناء النمو حتى تصل إلى قرب منطقة اتصال الساق بالقرص على السطح السفلى ، ومن ثم تنتظم الأرشييجونات على السطح السفلى للقرص (شكلا ٢٣١ ، ٢٣٢ ب) في ترتيب مغاير لترتيب الأنثريدات ، فتقع أصغر الأرشييجونات وأحدثها قرب الساق ، وتزداد تدريجياً في الحجم والعمر كلما اتجهنا نحو الحافة . ويوجد غلاف كاذب (Pseudoperianth) عند قاعدة كل أرشييجونة ، كما يحاط كل صف من الأرشييجونات من كل جانب بستار مغلف (Perichaetial flap) :

الإخصاب وتكوين النبات الجرثومي (البوغى) :

يظل عنق الحامل الأرشيجونى - قبل الإخصاب - قصيراً حتى تكون الأرشيجونات على مقربة من التربة والماء ، وتنحدر السباحات الذكرية من الأنثريدة وتعم في الماء بأهدابها ، حتى تصل إلى الأرشيجونة فتلقحها ، وتندمج نواة السباحة الذكرية مع نواة البيضة ، فتتحول الأخيرة إلى لاقحة ، تأخذ في الانقسام داخلياً وتتميز خارجياً لتكوين النبات الجرثومي الذي يتشكل إلى قدم (Foot) وعنق (Seta) وصماد أو علبة (Capsule) ، ويظل على اتصال بالثالوس المشيجى بوساطة القدم ، الذي يعد بمثابة عضو مثبت وماص ، ويستمر النبات الجرثومي طول حياته متطفلاً على النبات المشيجى (شكلا ٢٣٤ ، ٢٣٥) .

وبينا تسهم جميع الخلايا الناتجة عن انقسام اللاقحة في الريشيا في إنتاج الخلايا الوالدة للجراثيم ، فإن النبات البوغى (الجرثومي) في الماركانتيا يتميز بزيادة نسبة الأجزاء العقيمة ، التى تتمثل في التشكل الخارجى للنبات واقتصار وجود الخلايا الوالدة الجرثومية - المنتجة للجراثيم أو الأبواغ - داخل الصماد ، ولا يقتصر التعقيم على اقتطاع القدم والعنق من الأعضاء المنتجة للأبواغ ، بل يمتد إلى بعض الخلايا الوالدة الجرثومية داخل الصماد ، فتفقد تلك محتوياتها وتستطيل وتظهر بداخلها تغلظات لولبية ، وتعرف مثل هذه الخلايا الوالدة العقيمة بالناثرات (Elaters) ، (شكل ٢٣٤) ، وهى تساعد على انتشار الجراثيم بفضل طبيعتها الإيجروسكوبية . ويوجد عند قمة الصماد غطاء (Operculum or lid) ينفصل بمجرد اكتمال نضج الجراثيم ، فيترك بذلك فتحة عند قمة الصماد تنتشر عن طريقها الأبواغ ، وتنبت كل جرثومة تحت الظروف المواتية لتعطى نباتاً مشيجياً وتعيد دورة الحياة ، ويرى في (شكل ٢٣٥) ملخص دورة حياة الماركانتيا .

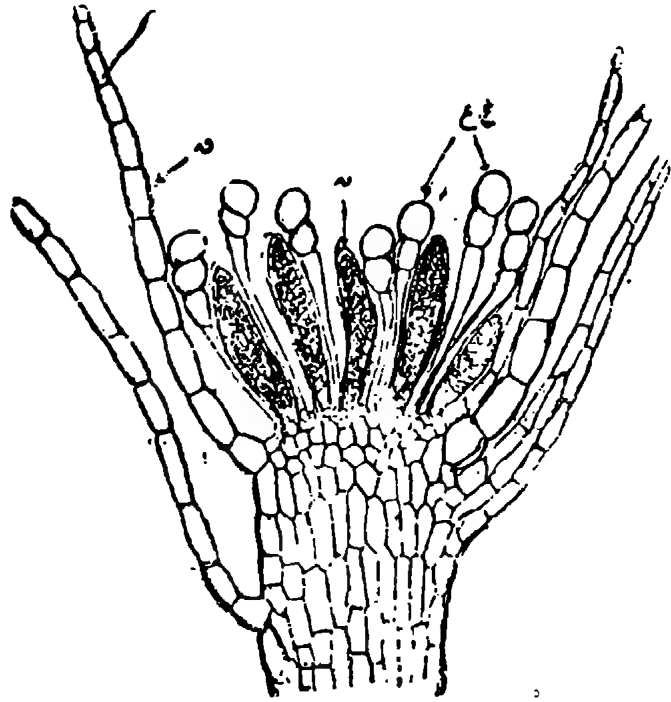
المشيحي في دورة الحياة ، وهو ورقى - بمعنى أنه يتميز خارجياً إلى قائمة وأوراق - وتنظم الأوراق في ثلاثة صفوف انتظاماً حلزونياً على ، وتكاد تغطيها ، وهي صغيرة الحجم وتتكون من طبقة واحدة من ايا ولها عرق وسطي متميز . وليس للنبات جذور ، ولكن تنبثق من . الساق أشباه جذور متعددة الخلايا ، وتتميز الساق داخلياً إلى حزمة ملة مركزية من خلايا متشابهة صغيرة ورقيقة الجدران - لا يستبين فيها ب أو لحاء - تحيط بها قشرة ثم بشرة .

أما الأعضاء الجنسية - من أنثريدات وأرشيحونات - فتتجمع عند ن الساق أو الفرع الجانبي على جزء منتفخ ومنبسط يعرف بالتخت (Recepte) . وتكون الأنثريدات صولجانية الشكل ذوات أعناق رة ، وتنتشر بينها خيوط عقيمة تنتهى بخلايا منتفخة (شكل ٢٣٦) ، كون كل خيط منها من صف واحد من خلايا - تحتوى على بلاستيدات ر - ويأخذ حجمها في الازدياد تدريجياً كلما اتجهنا صوب القمة . بط بالتركيب جميعه من أنثريدات وخيوط عقيمة قلافة (Involute) ، لك تختلط بالأرشيحونات خيوط عقيمة متعددة الخلايا - خلاياها فية مدببة - وتحيط بها قلافة (شكل ٢٢٤ : أ) . وتكون جدر وط العقيمة غالباً بنية اللون - لاسيما في الأجزاء السفلية منها - وتحتوى مع خلاياها على بلاستيدات خضر . ويشبه التركيب جميعه - من أعضاء ية تتخللها خيوط عقيمة وتحيط بها قلافة - الزهرة ، فإذا كانت تحتوى إلا على أنثريدات فقط سميت بالزهرة الحزازية الذكورية (Male moss flow ، وإذا احتوت فقط على أرشيحونات سميت بالزهرة سرازية الأنثوية (Female moss flower) . أما إذا احتوت على ثريدات والأرشيحونات معاً - مختلطين بالخيوط العقيمة - سميت بالزهرة رازية الخشوية (Hermaphrodite moss flower) .

وتباين النباتات المشيحية في الأنواع المختلفة للفيوناريا من حيث كونها دية المسكن أو ثنائية المسكن ، ففي الأنواع ثنائية المسكن يتميز النبات

المشيحي إلى نبات ذكرى يحمل أزهاراً حزازية لا تحتوى إلا على أنثريدات وإلى نبات أنثوى لا يحمل سوى أرشيحونات. أما في الأنواع أحادية المسكن فقد يحمل النبات المشيحي أزهاراً حزازية خثوية ، أو تحمل فروع منه أزهاراً ذكرية وتحمل أخرى أزهاراً أنثوية .

(شكل ٢٣٦)



طامع طاول في نبات مشيحي ذكرى ثنائي التكاثر يبين العلاقة
(ن) والأنثريدة (ن) والميوطة الحقيقية (خ . ع) (عن فريش
وساليسوري) .

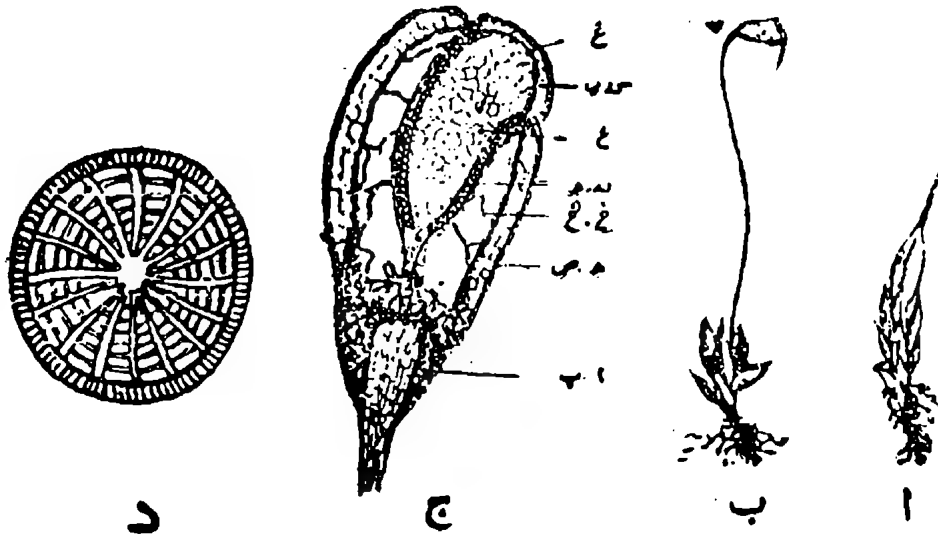
وتنشأ كل أنثريدة من خلية من سطح النخت ، تنقسم إلى خليتين ، تكون السفلى منهما العنق وتستطيل العليا لتكون الأنثريدة . وتتميز كل أنثريدة إلى جدار خارجي من طبقة واحدة من الخلايا بداخلها النسيج المولد للسباحات الذكرية (شكل ٢٣٦) . وتعطى كل خلية والدة سباحتين ذكريتين كل منهما كثرية الشكل ثنائية الأهداب ، وعند اكتمال نضج الأنثريدة تتميز عند القمة وتنحدر منها السباحات الذكرية. في كتل متكاثفة .

أما الأرشيجونة الناضجة فتكون معنقة وتتميز إلى بطن وعنق ، ويحتوى الأخير على عدد كبير من الخلايا القنوية العنقية (شكل ٢٢٤ : ب) .

ويحدث الإخصاب فى وجود الماء ، حيث تتخذ السباحات الذكرية طريقها إلى داخل الأرشيجونة لتصل إلى البيضة فتلقحها ويتم الإخصاب . ومع أن الإخصاب قد يحدث فى أكثر من أرشيجونة ، فإن نباتاً جرثومياً (بوغياً) واحداً هو الذى يتميز غالباً على ساق النبات المشيجى الأنثوى (شكل ٢٣٧ : أ ، ب) . وتنقسم اللاقحة بعد الإخصاب بجدار مستعرض إلى خليتين ، تأخذ كل خلية منهما فى متابعة الانقسام لتعطى تركيباً مستطيلاً - من خلايا صغيرة - تنظم عند طرفه الخالص خلية كبيرة . أما الخلية الكبيرة المجاورة لعنق الأرشيجونة فتتميز فيما بعد إلى العلبة ، وتتميز الخلية الكبيرة الأخرى إلى قدم ، وتكون الخلايا الصغيرة التى بينهما الحامل . ويستمر الجدار الأرشيجونى - الكاليبتر (Calyptra) - فى الامتداد والاستطالة ليهيئ بداخله مكاناً للنبات الجرثومى الصغير ، بينما يظل عنق الأرشيجونة عند طرف هذا التركيب العصوى الشكل بعض الوقت ، ولكن لا يلبث أن يتخذ لوناً بنياً بسبب موت خلاياه ويتميز عند قاعدة النبات الجرثومى الصغير - الملاصق للتخت - قدم (Foot) يعمل على تثبيت الجنين النامى فى نسيج النبات المشيجى ، وينتفخ الجزء العلوى لتكوين العلبة (Capsule) ، أما الجزء الوسطى - الواقع بين القدم والعلبة - فيكون الحامل (Seta) .

ويظل الجدار الأرشيجونى - أو الكاليبتر - محيطاً بالنبات الجرثومى ، ويستمر فى الاستطالة بالتدريج لمواجهة الزيادة فى حجم ونمو النبات الجرثومى ، حتى لا تعود استطالة الجدار الأرشيجونى قادرة على مسايرة سرعة نمو النبات الجرثومى وازدياد حجمه فيتمزق الجدار الأرشيجونى ويتحرر النبات الجرثومى ، ويأخذ الحامل فى الاستطالة بسرعة منتهياً بالعلبة . ويستمر الجدار الممزق لفترة قصيرة مغطياً طرف العلبة ، ثم يتحول لونه إلى اللون البنى وأخيراً يسقط .

(شكل ٢٣٧)



الميواريا . (١) النبات المشيجى الأنثوى وعليه النبات الجرثومى فى أولى مراحل تكوينه حيث يحيط به الجدار الأرضى الجوى ، (ب) النبات الجرثومى وقد تحرر من الجدار الأرضى الجوى وتميز خارجيا إلى قدم وحامل وعليه ، (ج) قطاع طولى للعليه مبيبا : غطلم (غ) ، سن بريسومنى (س . ب) ، عوئيد (ع) ، نسيج جرثومى (ن . ج) ، خطوط خلوية (خ . خ) ، جدار العليه (س . ح) والأبوينسيس (أ . ب) . (د) منظر سطحى للأسفاس البريستومية .

والنبات الجرثومى الناضج يتميز خارجياً إلى الأجزاء الثلاثة الآتية (شكل

٢٣٧ : ب) :

(١) القدم (Foot) : وهو جزء قاعدى منتفخ وقصير ، يعمل كعضو مثبت وماص ، إذ يساعد على تثبيت النبات الجرثومى على الطور المشيجى وعلى امتصاص الغذاء منه .

(ب) الحامل (Seta) : ويعد كعضو موصل ، إذ يساعد على توصيل الغذاء من القدم إلى العلية .

(ج) العلية (Capsule) : وهى الجزء الحصبب من النبات الجرثومى (البوغى) الذى يحتوى بداخله الخلايا الوالدة الجرثومية المنتجة للجراثيم (الأبواغ) .

وتتميز العلبة داخلياً - كما يرى في قطاع طولى (شكل ٢٣٧ ج) - كما يأتى : توجد عند منطقة اتصال الحامل بالعلبة منطقة غنية بالبلاستيدات الخضراء وبالنفور ، تعرف بالأبوفيسيس (Apophysis) ، يدل وجودها على أن النبات الجرثومى يستطيع أن يساهم إلى حد ما فى استيفاء بعض احتياجاته من المواد الكربوهيدراتية ، أو بمعنى آخر أن تطفل النبات الجرثومى على النبات المضيف تطفل جزئى ، وليس تطفلاً كاملاً كما هو الحال فى الريشيا . أما النسيج الجرثومى (Archesporium) فيوجد على هيئة اسطوانة مفتوحة الطرفين . تحدها من الداخل والخارج اسطوانتان أخريان من طبقة تعرف بالطبقة الطرازية (Tapetal layer) ، لا تلبث أن تنحل خلاياها إلى مادة غذائية لإمداد الجراثيم بما تحتاج إليه من غذاء لاستكمال نموها . أما التجويف الداخلى للأسطوانة الجرثومية فيشغله نسيج عقيم يعرف بالعوميد (Columella) .

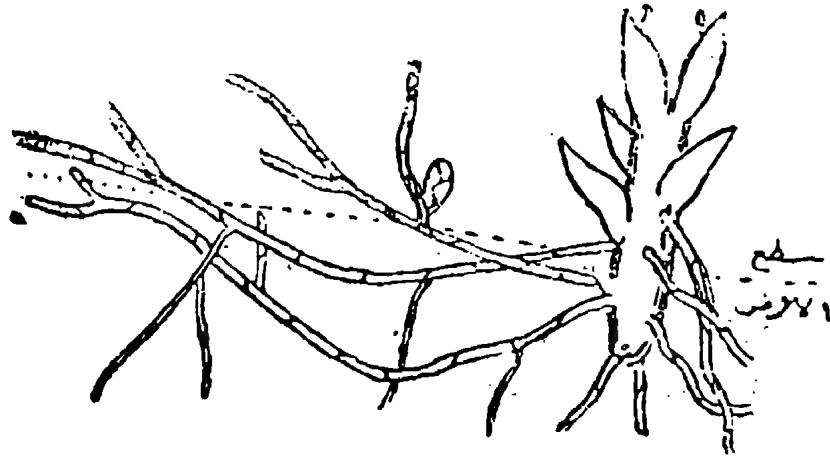
ويوجد بين الاسطوانة الجرثومية والجدار الخارجى للعلبة تجويف هوائى (Air cavity) ، إلا أن هناك خيوطاً خلوية (Trabeculae) تصل ما بين الاسطوانة الجرثومية وجدار العلبة ، ويوجد عند قمة العلبة غطاء (Operculum or lid) قبوى الشكل ، تقع عند قاعدته حلقة (Annulus) تتكون من خلايا رقيقة الجدر ، وتقع تحت الغطاء مباشرة طبقة من أسنان منفصلة - تنظم على هيئة حلقة قبوية الشكل (شكل ٢٣٧ د) - تعرف بالأسنان البريستومية (Peristome teeth) ، وعددها ست عشرة غالباً ، وتتميز خلايا الأسنان البريستومية بتأدم جدرها الخارجية والداخلية ، أما جدرها القشرية فتكون من سليولوز غير متأدم .

وعند اكتمال نضج الجراثيم وجفاف العلبة ، تنحل خلايا الحلقة ذات الجدر الرقيقة ، وبذلك ينفصل الغطاء ، ومن ثم تتعرض الأسنان البريستومية للخارج تعرضاً مباشراً . ولما كانت هذه الأسنان إيجروسكوبية - بمعنى أنها شديدة الحساسية للرطوبة الجوية - فهي تنفتح عند الجفاف وتنغلق عند وفرة الرطوبة ، وبذلك تنتثر الجراثيم وقت الجفاف إذا اهتز الحامل بتأثير الرياح ،

حيث تأخذ كل جرثومة في الإنبات - عند توفر الظروف المواتية - لتعطى
طوراً خيطياً مميزاً (شكل ٢٣٨) يعرف بالخيط الأولي أو البروتونيما

(Protonema).

(شكل ٢٢٨)



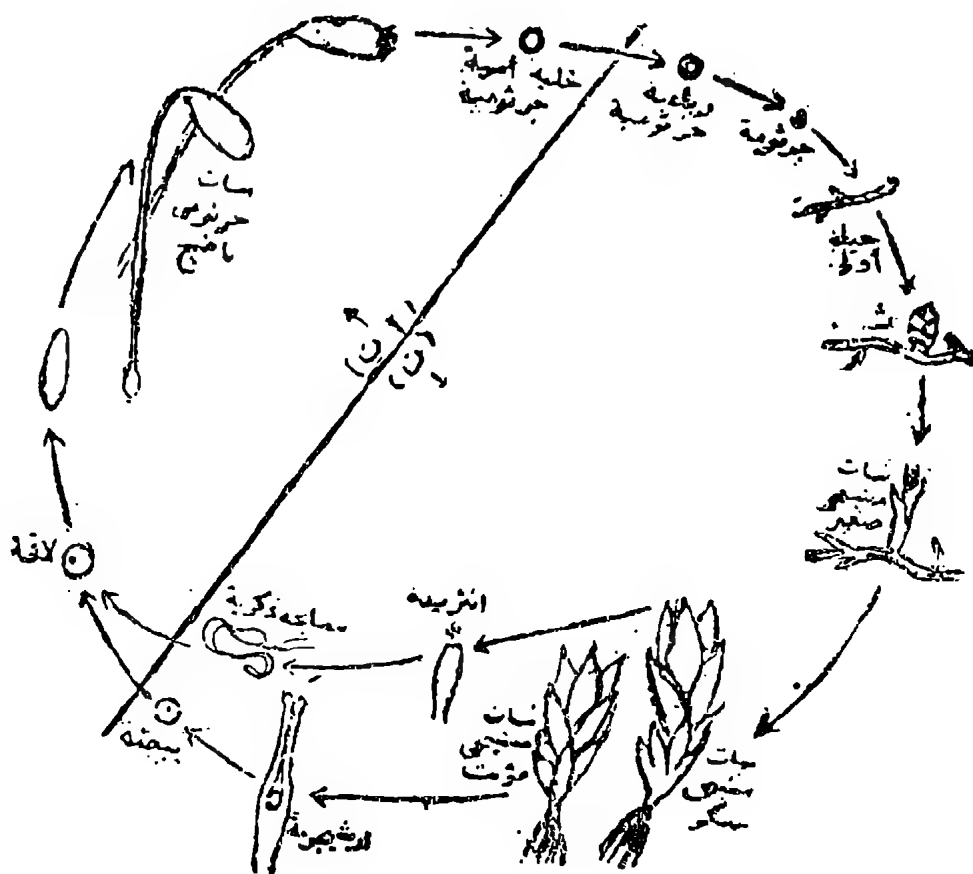
الخيط الأولي - أو البروتونيما - يبين برعماً مميزاً ونباتاً مشججاً ناتجاً عن نمو سابق
على نفس الخيط . ونرى أن الخيط الجذر المستعرضة المائلة وأشياء الجذور .

ويتكون الخيط الأولي من جزء فوق أرضي أخضر اللون وأشياء جذور
عديمة اللون تنعمق في التربة ، ويشبه الجزء فوق الأرضي من الخيط الأولي
الخيط الطحلي الأخضر من حيث تكوينه من صف من خلايا تحتوي على
بلاستيدات خضراء ، إلا أنه يتميز عن الخيط الطحلي بأن الجذر الفاصلة بين
الخلايا مائلة (شكل ٢٣٨) ، وتنبثق من الخيط الأولي عدة أشباه جذور
صغيرة تأخذ طريقها متعمقة في التربة وتشبه إلى حد كبير أشباه الجذور
الممتدة من قاعدة النبات المشجج ، إلا أنها تتميز عنها بجدرها
المستعرضة المائلة .

وتتكون على فروع صغيرة من الخيط الأولي - خلف الجذر المستعرضة
المائلة عادة - خلايا كرية إلى حد ما ، تأخذ كل واحدة منها في الانقسام
داخلياً لتكون برعماً جانبياً ، يستمر في النمو والانقسام داخلياً ليكون نباتاً
مشججاً ، لا يلبث أن يفقد صلته بالخيط الأولي بمجرد تكوين أشباه الجذور ،

تميز على كل خيط أولى عدد من النباتات المشجية . ويرى في (شكل ٢٣٩)
مخص دورة حياة الفيوناريا .

(شکل ۲۳۹)



منذ عام ١٩٥٠ ، حيث تكون جميع غلابة الزاكنين الواقعة فوق الجبل
القاسل ثنائية المجموعة البصفتية (١٢) ، وذلك الواقعة تحت أجادية المجموعة
الصفتية (١٠)

الباب الثالث والعشرون

النباتات البتيرية والميكروفيلية

PTEROPHYTA AND MICROPHYLLOPHYTA

قسم النباتات البتيرية أحد ثمانية أقسام كبيرة من نباتات وعائية ، أى ذوات أجهزة توصيل تتركب من خشب ولحاء ، فهى فى هذه الناحية أرقى من قسمى النباتات الكبدية والحزازية ، ولكنها من ناحية أخرى على نفس مستواهما البدائى من حيث التكاثر بالجراثيم كالثالوسيات وليس بالبذور كالنباتات البتيرية ، ومن ثم جاءت تسمية هذه الأقسام بالنباتات الوعائية غير البتيرية .

وبعض أقسام النباتات الوعائية غير البتيرية ممثلة بنباتات جميعها حفزية منقرضة : مثل أقسام النباتات الرينياوية Rhyniophyta والزوستيروفيلية Zosterophyllophyta والتريميروفيتية Trimerophytophyta والأنيوروفيتية ، Aneurophyta وبعضها ممثلة بنباتات جميعها حية ، أى تعيش فى عصرنا الحاضر ، مثل قسم النباتات البسيلوتية Psilotophyta ، والبقية تمثل بعض طوائفها أو رتبها أو فصائلها أو أجناسها نباتات حية معاصرة بينما تمثل بقية نباتاتها نباتات حفزية منقرضة ، وتلك الأقسام المختلطة هى أقسام النباتات الميكروفيلية Microphyllophyta والمفصلية Arthrophyta والبتيرية Pterophyta .

ويرجع اختيار قسم النباتات البتيرية كممثل لهذه المجموعة الكبيرة من الأرشيجونيات إلى عدة أسباب أهمها ما يأتى :

١ - أنه أكبر أقسام المجموعة .

٢ - أنه يضم مجموعة النباتات المعروفة باسم السراخس وهى واسعة الانتشار فى جميع أنواع البيئات وعلى مستوى العالم كله .

٣ — أن به أكبر مجموعة من الصفات المشتركة مع بقية أقسام النباتات الوعائية اللابذرية .

أما اختيار قسم النباتات الميكروفيلية فيرجع إلى كونه يضم رتبة الرصنيات ، وهي نباتات متباينة الجراثيم ، وظاهرة تباين الجراثيم أقرب إلى الحالة البذرية من ظاهرة تشابه الجراثيم التي يمثلها نبات كزبرة البئر .

وسندرس هنا نبات كزبرة البئر *Adiantum Capillus-veneris* كمثال للنباتات البثرية ونبات الرصن *Selaginella* كمثال للنباتات الميكروفيلية .
(شكل ٢٤٠)



تشبه النباتات البثرية (Pterophyta) الخزازيات من حيث وجود طورين متميزين في دورة الحياة ، طور جرثومي وآخر مشيجي ، إلا أنها تختلف عن الخزازيات من حيث سيادة الطور الجرثومي — الذي يمثل النبات — وشدة ضمور الطور المشيجي . ويكون الطور الجرثومي على درجة كبيرة من التعقيد ، حيث يتميز إلى سيقان وأوراق وجذور (شكل ٢٤٠ : أ) ، لها حزم وعائية . وتنتظم الجراثيم داخل أكياس خاصة (شكل ٢٤٠ : ب) تعرف بالحواظ الجرثومية . (Sporangia) . ونظراً لوجود أنسجة وعائية في النباتات

مرحس ، عديدة الأرجل ، (*Polypodium*)
بين : (١) الشكل الخارجى للنبات الجرثومي إلى
برومة وأوراق مرخية وجذور عرضية ،
(ب) جزء من ريشة تنتظم على سطحها السفلى بثرات
مكونة من حواظ جرثومية متشابهة .

البقية فإنها تسمى أحياناً بالنباتات اللازهرية الوعائية (Vascular cryptogams)

وتحتوى البتيريات على أكثر من تسعة آلاف نوع ، تعيش فى بيئات مختلفة ، فمنها الأرضية ومنها المائية ومنها ما تعيش عالقة على غيرها من نباتات ، وتكاد تكون جميعها عشبية فيما عدا السراخس الشجرية (Tree ferns) . وتختلف طريقة نمو النبات الجرثومى وحجمه باختلاف رتب النباتات البتيرية ، فيكون تفرع الساق فى بعضها ثنائى الشعب وفى البعض الآخر وحيداً .

وتعد البتيريات من أقدم النباتات الوعائية المعروفة ، إذ بدأت فى الظهور منذ أقدم العصور الجيولوجية ، وكانت أوسع انتشاراً فى العصور الجيولوجية الأولى من النباتات الوعائية الراقية المعروفة حالياً واندثرت بعض رتبها ولا تعرف نباتاتها حالياً إلا فى حالة حفورية . وحافظت رتب أخرى على جنسها وما زالت أفرادها حتى الآن باقية .

وتتميز النباتات البتيرية جميعها بانتظام جراثيمها داخل حوافظ جرثومية وتتكون كل حافظة من جدار خارجى عقيم يحيط بالنسيج الجرثومى . وتختلف رتب البتيريات من حيث طريقة انتظام الحوافظ الجرثومية على الأوراق ، فى رتبة السرخسيات (Ferns or Filicales) يحمل النبات الجرثومى طرازاً واحداً من الأوراق ، وتنظم حوافظ جرثومية متشابهة على السطح السفلى للورقة عادة (شكل ٢٤٠ : ب) ، بمعنى أن كل ورقة تقوم بالوظيفتين الخضرية والتناسلية معاً ، فليس هناك تقسيم عمل أو تخصص فسيولوجى بين أوراق النبات . وفى هذه الحالة تكون جميع الحوافظ الجرثومية والجراثيم متشابهة (Homospores) ، وتثبت كل جرثومة لتعطى نباتاً مشيحياً وحيد المسكن ، أى يحمل الأنثريدات والأرشيحونات معاً على نفس النبات .

أما فى رتبة الرصنيات (أو السلاجينلات) . Selaginellales - وهى إحدى رتب قسم النباتات الميكروفيلية - فيوجد تخصص فسيولوجى

أو تقسيم عمل بين أوراق النبات الجرثومي ، بمعنى تميزها إلى أوراق خضرية وأخرى جرثومية ، وتنظم الحواظف الجرثومية في آباط الأوراق الجرثومية (Sporophylls) ، التي تتجمع عادة - على هيئة مخروط - عند أطراف السيقان والفروع ، ويمتد تقسيم العمل إلى الأوراق الجرثومية ذاتها ، فتميز بدورها إلى أوراق جرثومية صغيرة ، تتأبط كل منها حافظة جرثومية صغيرة . وإلى أوراق جرثومية كبيرة . تتأبط كل منها حافظة جرثومية كبيرة . أما الحواظف الجرثومية الصغيرة فتحتوى على جراثيم (أبواغ) صغيرة ، تعطى كل واحدة منها عند الإنبات نباتاً مشيجياً ذكورياً ، أما الحواظف الكبيرة فتحتوى على جراثيم كبيرة ، تعطى كل واحدة منها عند الإنبات نباتاً مشيجياً أنثوياً ، وتعرف هذه الظاهرة بتيان الجراثيم (Heterospor) ، وتصاحبها ظاهرة ثنائية المسكن (Dioecism) ، حيث ينتج عن إنبات هذه الجراثيم نباتات مشيجية ذكورية وأخرى أنثوية منفصلة .

السرخسيات

تمثل السرخسيات أكبر رتب النباتات البثرية الموجودة حالياً من حيث العدد ، إذ تحتوى على أكثر من ٧٨٠٠ نوع ، واسعة الانتشار على ظهر البسيطة . وتنمو غالبيتها في الأماكن الظليلة الرطبة ، وتزدهر في المناطق الاستوائية ، كما توجد أيضاً في المناطق المعتدلة . وتظهر طريقة نمو النباتات الجرثومية تفاوتاً كبيراً في الأجناس السرخسية المختلفة ، فتكون بعض السراخس عشبية والبعض الآخر شجيرية أو شجرية . وتوجد السراخس العشبية عادة في البادان المعتدلة والباردة ، أما السراخس الشجيرية فتغطي تربة المناطق الدافئة . وتقتصر السراخس الشجيرية على الغابات الاستوائية ، وتنمو إما زاحفة وإما متسلقة أو عالقة . وتنتشر السراخس تحت ظروف بيئية متباينة ، وتستطيع بعضها أن تتكيف لظروف الجفاف الصحراوية ، وقلة منها ملحية ، بمعنى أنها تعيش بجانب شواطئ البحار بمسها رذاذ المياه المالحة بين الحين والحين . وهناك مجموعة خاصة من السراخس - تعرف بالسراخس

لائيسة (Hydropterideae) - تتميز بأنها متباينة الجراثيم وتعيش إباطافية
مغمورة في الماء .

الشكل الخارجي (شكل ٢٤٠ : ١) يتكون النبات الجرثومي من ريزومة
تد أفقياً - فوق سطح التربة أو تحتها - وتحمل أوراقاً على سطحها العلوى
جانبوراً عرضية على سطحها السفلى . وتتميز السراخس بكبر أوراقها - التي
مرف بالأوراق السرخسية (Fronds) - وتتكون كل ورقة من جزئين
ئيسين : نصل ورقى ومحور ، ويتكون الأخير من جزء قاعدى يعرف
العنق (Stipe) وجزء علوى يحمل النصل الورقى ، ويعرف بالحامل النصلى
(Rachis) . وتغطى الريزومة وأعناق الأوراق حراشيف هشة كثيفة تعرف
إسم الرامنتا (Ramenta) . (شكل ٢٤١)



شكل يوضح ظاهره الالتفاف الخطافى فى الأوراق
السرخسية الصنيرة .

وتختلف أشكال الأوراق
فى السراخس باختلاف
الأجناس ، فتكون بسيطة
فى بعضها كما فى سرخس
لسان الأيل (Hart's tongue)
المعروف علمياً بإسم
« سكولوبندريم » (Scolo-
pendrium) ، وريشية فى
سراخس أخرى مثل سرخس
بقلّة الطحسالى البحرية أو
« أسبيلينيم » (Asplenium)
فإذا ما انقسمت كل ريشة
إلى رويشات (Pinnules)
أصبحت الورقة السرخسية
ريشيسية ثنائية (Bipinnate)

كما في سرخس كزبرة البئر (*Adiantum*) وقد تنقسم كل رويشة بدورها إلى رويشات ثانوية (*Secondary pinnules*) وتوصف الورقة الريشية حينئذ بأنها ريشية ثلاثية (*Tripinnate*) كما في سرخس الديرشار (*Pteris*) . وتتميز الورقة السرخسية في صغرها بالتفافها عند الطرف إلتفافاً خطافياً (*Circinate* vernation) ، وهي ظاهرة شكلية تختص بها السرخسيات دون غيرها من النباتات البتيرية (شكل ٢٤١) .

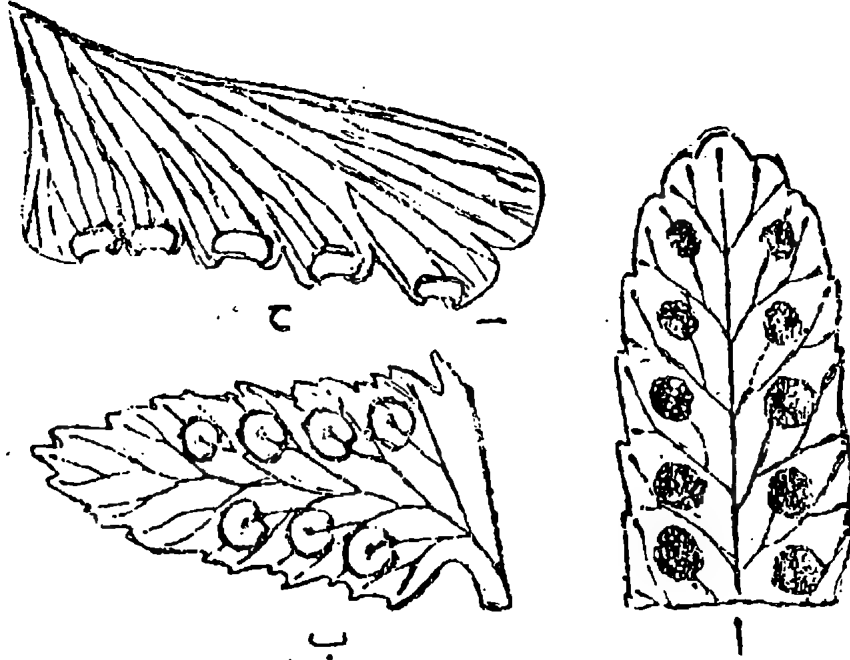
البثرات الجرثومية (البوغية) : : تحمل الأوراق السرخسية الحوافظ الجرثومية متجمعة في بثرات بنية أو برتقالية اللون ، تنتظم على مشيمة (*Placenta*) تبرز من السطح السفلي للورقة السرخسية . وتبدأ كل حافظة جرثومية كخلية واحدة من خلايا بشرة المشيمة ، ثم تأخذ في الاستطالة والانقسام . فتنقسم أولاً بجدار مستعرض إلى خليتين ، تأخذ السفلى منها في الانقسام بجدار مستعرض وطولية لتكوين عنق الحافظة الجرثومية ، أما الخلية العليا فتنقسم لتكوين الحافظة ذاتها ، التي لا تلبث أن تتميز إلى جدار خارجي — مكون من طبقة واحدة من الخلايا — يضم النسيج الجرثومي وطبقة غذائية تعرف بالطبقة الطرازية (*Tapetal layer*) ، تقع بين جدار الحافظة والنسيج الجرثومي ، وينقسم النسيج الأخير إلى حوالي ست عشرة خلية والدة جرثومية ، تنقسم كل خلية منها مرتين — أولهما انقسام اختزالي — لتكوين رباعية جرثومية (*Spore tetrad*) ، كل جرثومة أحادية المجموعة الصبغية وتنحل خلايا الطبقة الطرازية عند اكتمال نضج الجراثيم ، وتحول إلى مادة هلامية تغذي بها الجراثيم .

وتنتظم الحوافظ الجرثومية (البوغية) على تحت من المشيمة الورقية ، وتتجمع في بثر جرثومية (*Sorus*) ، وتتكون البثرة من حوافظ جرثومية تختلف فيما بينها من حيث أعمارها وأحجامها — وتعرف بالبثرة المختلطة (*Mixtae sorus*) — وتنتظم على تحت مشيمي — يكون عادة مستوياً ، وتميز البثرة المختلطة غالبية السراخس الأرضية الحديثة التي تنسب إلى الفصيلة السرخسية المعروفة بالفصيلة البوليبوديومية (*Polypodiaceae*) .

والبثرة المختلطة إما أن تكون معراة كما في سرخس بوليبيديوم (شكل ٢٤٢ : أ) ، أو محاطة بغطاء بثرى (Indusium) . وتختلف نشأة هذا الغطاء باختلاف الأجناس ، ففي السرخس الذكر (Dryopteris) ينشأ الغطاء البثرى عند طرف المشيمة الورقية ذاتها على هيئة تركيب كلوى الشكل يغطى البثرة الجرثومية من الخارج ، ويعرف مثل هذا الغطاء بالغطاء البثرى الصادق (True indusium) ، كما في شكل (٢٤٢ : ب ، ٢٤٣) . أما في سرخس كزبرة البئر (Adiantum) فيتكون الغطاء البثرى نتيجة لانشاء حافة الرويشة لتغطية البثرة الجرثومية (شكل ٢٤٢ : ج) ، ويعرف في هذه الحالة بالغطاء البثرى الكاذب (False indusium) .

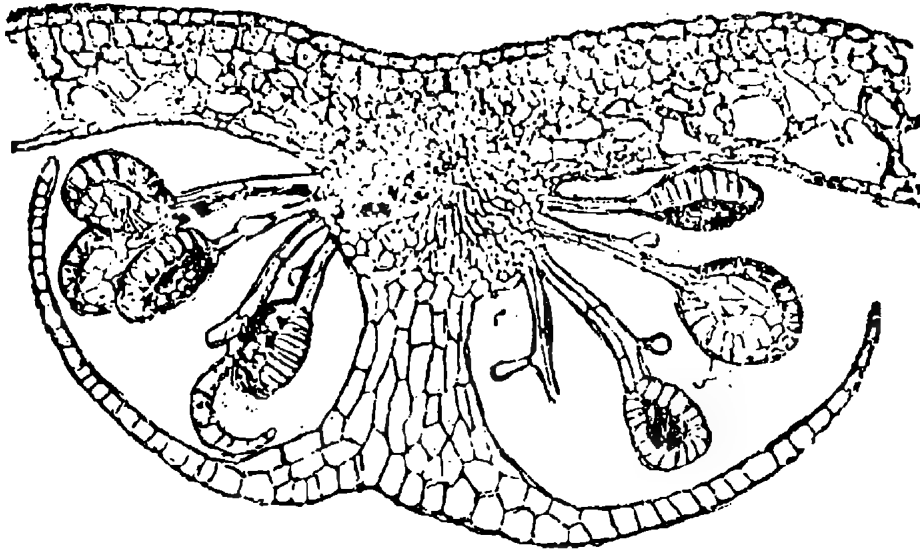
التركيب الوعائى للسرخسيات : يتكون الخشب في السراخس من قصبيات وبارنشيمة خشب ، أما اللحاء فيتكون أساساً من أنابيب غربالية . والأعمدة

(شكل ٢٤٢)



الطرز المختلفة لثمار الجرثومية المختلطة في السراخس : (أ) معراة في سرخس
عديم الأرجل (Polypodium) ، (ب) حاذقة الغطاء البثرى في السرخس الذكر
(Dryopteris) ، (ج) كاذبة الغطاء البثرى في كزبرة البئر (Adiantum) (عمر حمود)

(شكل ٢٤٣)

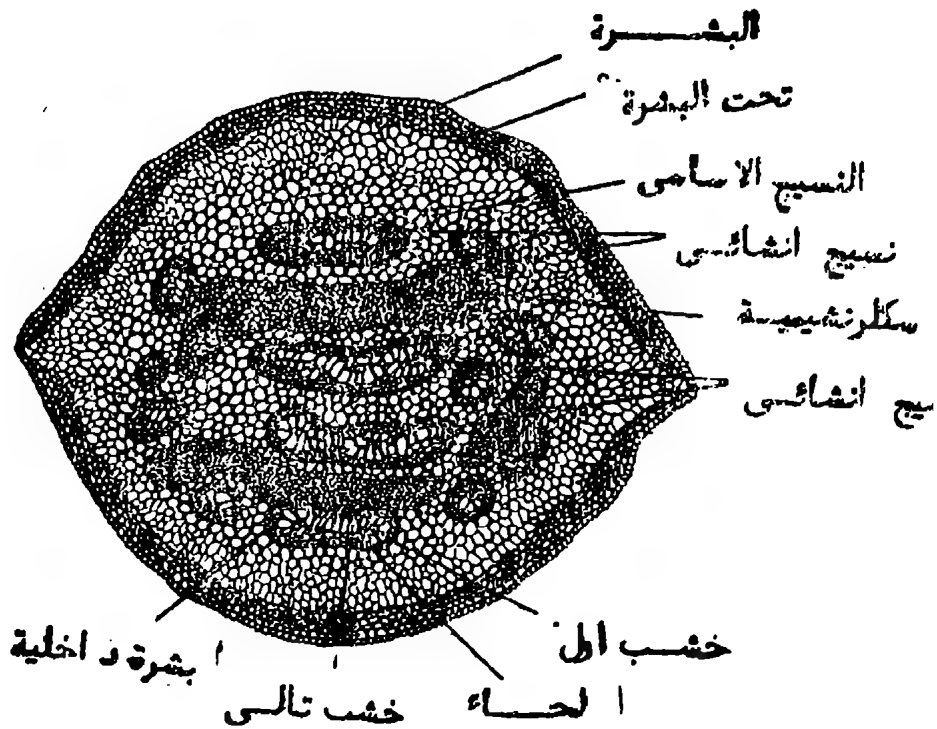


قطاع في البثرة الجرثومية الملاحظة للسرخس الذكر (*Dryopteris*) يبين ماريفه انظام
الحواصط الجرثومية المنقطة على المشيب الورقية (م) ، وترى أيضا النخلة (س) والقطاعات البثرية
المصادق (د) عن (فراش وسالجبوري).

الوعائية الجزئية (*Meristele*) إما أن تكون وحيدة المحيط (*Monocyclic*)
— بمعنى أنها تنتظم في حلقة واحدة — كما في ساق سرخس كزبرة البئر . وإما
أن تكون ثنائية المحيط (*Dicyclic*) فتنتظم في حلقتين (شكل ٢٤٤) كما في
سرخس الديشار (*Pteris*) .

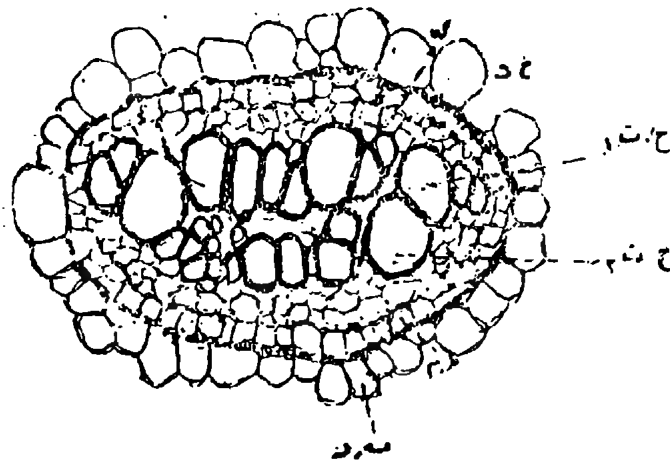
ولا تتميز في ساق السرخس قشرة ونخاع ، بل تنتشر الأعمدة الوعائية
الجزئية في النسيج الأساسي ، والعمود الوعائي الجزئي مركزي ، بمعنى أنه
يتكون من خشب وسطي يحيط به لحاء ثم طبقة محيطية وبشرة داخلية
(شكل ٢٤٥) ، ويوجد الخشب الأول في وسط منطقة الخشب ، يحيط
به الخشب التالي من الخارج ، ولذلك يعد العمود الوعائي الجزئي وسطي
الخشب الأول .

وسندرس دورة حياة كزبرة البئر (*Adiantum*) — وهو سرخس
شائع الوجود في مصر — كمثل لدورة حياة السرخسيات .



قطاع مستعرض في ساق سرخس الديشاريين النسيج الأساس وقد انتظمت الأعمدة الوعائية
لزنية في محيطين ، وتوجد حزمة سكلرتشيمية بين محيطي الأعمدة الوعائية الجزئية ، وترى
نموا لليشرة عن (روبنز وريكت) .

(شکل) ۲۴۵



حزمة وعائية جزئية وسطية (أ)
وبرى شب نال من دفاع المركز (ب)
منجها محو (خ. ت. م.) ، كما يرى
بالشب النالي (خ. ت.) وثق خا.
(ط. م.) وبفرة داخلية (ب. د.)

كزبرة البئر

يطلق على هذا السرخس اسم كزبرة البئر بسبب مشابهة أوراقه لأوراق نبات الكزبرة ، ولكثرة وجوده في الآبار حيث يتوفر الظل والماء . وهو ينمو برياً وينتشر في البلدان الدافئة ، ويكثر وجوده في الأماكن الظليلة الوافرة الرطوبة مثل الآبار والسواقي ، وينمو بسهولة في الصوبات الزجاجية ، ويستعمل كنبات زينة . وفي الهند تغلى أوراقه وريزوماته في الماء . ويستغل المستخلص المائى للحد من النزلات الصدرية وعلاج المغص ونزلات البرد والزكام .

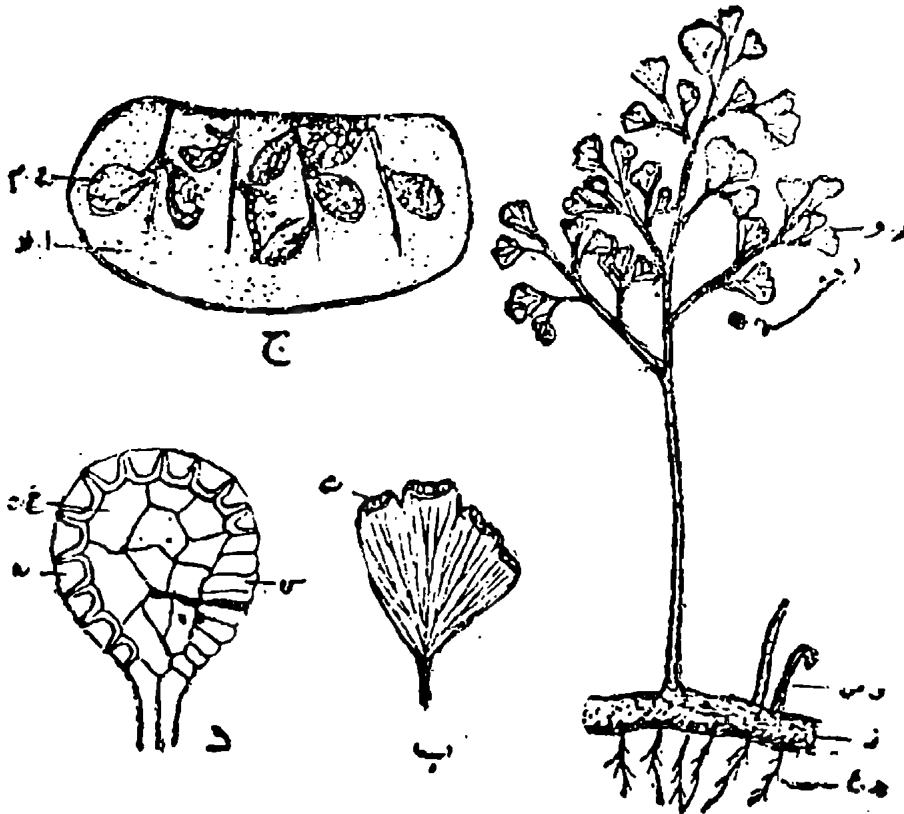
ويمثل النبات الطور الجرثومى في دورة الحياة ، وتمتد الريزومة متعمقة تحت سطح التربة ، وتنشق من سطحها السفلى جذور عرضية ومن سطحها العلوى أوراق سرخسية كبيرة، ريشية ثنائية (شكل ٢٤٦ : أ) ، وتلتف الورقة السرخسية الصغيرة إلتفافاً خطافياً مميزاً (شكل ٢٤٦) . أما الورقة السرخسية الكبيرة فتتكون من عنق مغطى بحراشيف وحامل نصلى يحمل فروعاً جانبية ، يمثل كل فرع منها ريشة (Pinna) تنقسم إلى عدة رويشات (Pinnules) مثلثة أو وتدية الشكل (شكل ٢٤٦ : ب) . وتتجمع الحوافظ الجرثومية عند حافة الرويشة على سطحها السفلى على هيئة بثرات مستطيلة برتقالية اللون ، وتنشئ حافة الرويشة لتغطيتها مكونة غطاء بترياً كاذباً (شكلا ٢٤٢ ج ، ٢٤٦ ب ، ج) .

وتتخذ الحافظة الجرثومية المعنقة شكل عدسة غليظة محدبة الوجهين ، يتكون جدارها الخارجى العقيم من طبقة واحدة من الخلايا ، إلا أنها ليست جميعها متشابهة (شكل ٢٤٦ : د) إذ تتكون حافتها من حلقة من خلايا جدارية مميزة ، يتكون الجزء الأكبر منها — ويبلغ حوالى ثلثها — من خلايا تتميز بشدة تغلظ جدرها المحيطية الداخلية والقطرية وبرقة جدرها المحيطية الخارجية والجانبية ، ويعرف هذا الجزء المميز من الحلقة الحافية للحافظة بالطوق (Annulus) ، أما الجزء الباقى من الحلقة فيعرف بالشق (Stomium) ،

وخلاياه رقيقة الجدر خالية من التغلظات المميزة للخلايا الطوقية ، أما خلايا الجدر الجانبية للحفاظة الجرثومية فمفلطحة رقيقة الجدر .

آلية انفتاح الحفاظة الجرثومية : عندما يكتمل نضج البثرة الجرثومية ، يحف الغطاء البثرى ويذبل ثم يسقط ، ومن ثم تتعرض الحوافظ الجرثومية للجفاف وتبدأ في فقد ما بها من ماء . ويتم لانفتاح الحفاظة الجرثومية - لتحرير ما بداخلها من جراثيم - على مرحلتين متتاليتين (شكل ٢٤٧) . ففي المرحلة الأولى تتمزق الحفاظة الجرثومية في منطقة الشق (شكل ٢٤٧ : ١) ويأخذ

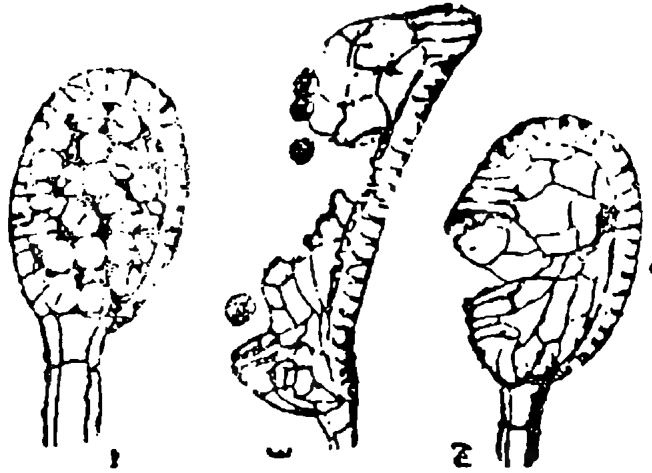
(شكل ٢٤٦)



النبات الجرثومي اسرخس : كثريرة البثر ، ويرى : (١) جزء من النبات الجرثومي مبينة الريزومة (ز) والجذور العرضية (ج . ح) والأوراق السرخسية في مراحل مختلفة من النمو ، وتظهر الورقة الصغيرة (و . س) النفاثا خطافيا مبرأ أما الورقة الكبيرة فريشة تنمير فيها الريشة والريشة (رهو) ، وفي (ب) يوبغة تنتظم عند حالتها البثرات الجرثومية عامة بالغطاء البثرى السكاذب ، وفي (ج) حافة الريشة مبينة الحوافظ الجرثومية (ح . ح) والغطاء البثرى السكاذب (١ . ك) ، وفي (د) حافظة جرثومية مكبرة تنمير فيها خلايا الطوق (ن) والشق (ن) والجذير (خ . د)

الطوق في الانحناء إلى الخلف حاملاً معه غالبية الجراثيم (شكل ٢٤٧ : ب) ،
وفي المرحلة الثانية يرتد الطوق بقوة إلى وضعه الأصلي (شكل ٢٤٧ : ج)
قاذفاً بالجراثيم إلى مسافات بعيدة .

(شكل ٢٤٧)



المرحلة الثالثة : إنتاج المظلة الجرثومية : (١) تبرز الخلية الشفوية من منطقة
الشف حيث يبدأ الانشقاق ، (ب) انحناء الطوق إلى الخلف ، (ج) ارتداد الطوق إلى وضعه
الأصل إثر الجراثيم

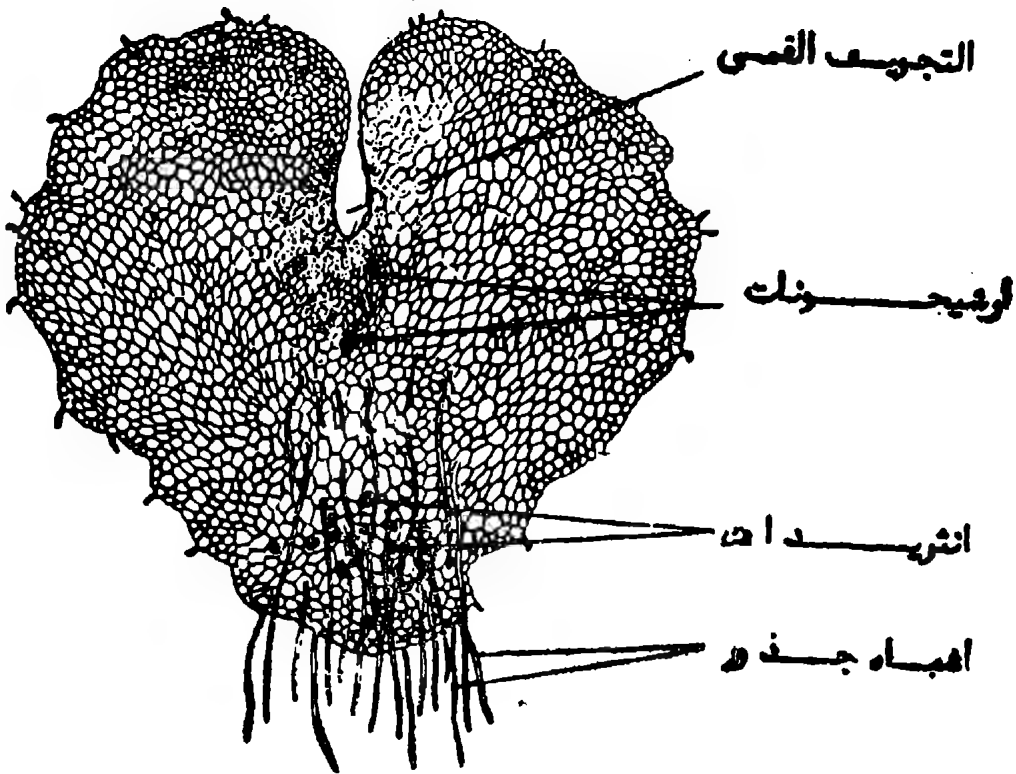
وتبدأ المرحلة الأولى حين تأخذ الخلايا الطوقية في فقدان ماؤها عن طريق
جدرها المحيطية الخارجية الرقيقة ، ولا تستطيع تعويض ما فقدته من ماء مما
يجاورها من خلايا بسبب شدة تغلظ جدرها المحيطية الداخلية والقطرية ، ومن
ثم تأخذ المحتويات الداخلية للخلية الطوقية في الانكماش بازدياد فقدان الماء ،
وينتهي تبعاً لذلك الجدار المحيطي الخارجي إلى داخل الخلية جاذباً إليه الجدر
القطرية . وينتج عن توالى انثناء الجدر المحيطية وتقارب الجدر القطرية تقلص
الطوق في الاتجاه المحيطي مما يؤدي إلى إحداث ضغط على خلايا الحلقة الحافية
للحافظة الجرثومية . وتستطيع الخلايا الطوقية مقاومة هذا الضغط بسبب شدة
تغلظ جدرها القطرية ، أما الخلايا الشقية فتعجز عن مقاومة هذا الضغط بسبب
رقة جدرها القطرية ، ومن ثم يبدأ انشقاق الحافظة الجرثومية في منطقة الشق ،
الذي تتميز فيه خليتان ضبقتان ومستطيلتان قطرياً ، تعرفان بخلايا الشفة

(Lip cells) ، ويحدث انشقاق الحافظة الجرثومية بين الخليتين الشفويتين ويتم الانشقاق تدريجياً بترالى فقدان الماء وانشاء الجدار ، ويستمر الطوق في الانحناء إلى الخلف حاملاً معه الجزء العلوى من الحافظة الجرثومية الذى يحتوى على غالبية الجراثيم ، وقد تبقى في الجزء السفلى بضع جراثيم قليلة لا تنتشر عادة. ويتوالى انحناء الجزء العلوى من الحافظة الجرثومية ، تصل كل خلية طوقية إلى حالة توتر بسبب التواء جدارها المحيطى الداخلى وقوة الجذب بين جدارها القطرية ، ويستمر انحناء الجزء العلوى للحافظة الجرثومية ما بقيت قوة تماسك جزيئات الماء داخل الخلية متفوقة على القوى المضادة العاملة على تمزقها . وهى قوى الجدار المحيطية الداخلية الساعية إلى التخلص من التوائها والجدار القطرية الساعية إلى التحرر من قوى الشد - التى تعمل على تقاربها - والرجوع إلى سابق أوضاعها ، فإذا ما تغلبت القوى الأخيرة على قوة تماسك جزيئات الماء داخل الخلية الطوقية حدث اختلال في الخلية واستوى الجدار المحيطى الخارجى لها بعد انثناء ، وتقدمت جزيئات الماء التى بداخلها قوة تماسكها . ومنى بدأ الاختلال في أى خلية طوقية امتد سريعاً إلى جميع الخلايا الطوقية لنفس الحافظة الجرثومية ، ورجعت جميع الجدر إلى سابق أوضاعها ويرجع الجزء العلوى للحافظة الجرثومية المنشقة في قوة وعنف إلى موضعه الأسمى ، قاذفاً بالجراثيم التى بداخله إلى مسافات بعيدة . وتهدف الآلية التى يتم بها انفتاح الحافظة إلى نثر الجراثيم لمسافات بعيدة عن النباتات الأبوية المنتجة لها ، وكذلك لكي لا تننافس النباتات البينية ذاتها فيما بينها .

إنبات الجراثيم وإنتاج النبات المشيجي : يتميز جدار كل جرثومة إلى طبقتين ، طبقة خارجيه (Exine) - وهى صلبة بنية اللون - وطبقة داخلية (Intine) رقيقة عديمة اللون . فإذا ما استقرت الجرثومة في تربة ملائمة وتوافرت لها الظروف البيئية المواتية - من دفء ورطوبة وأكسجين - بدأت في الإنبات فيخرج منها شبه جدر (Rhizoid) بتخذ طريقه إلى أعماق التربة : وتستمر الأنبوبة الإنبات في الاستطالة مكونة خيطاً من عدة

خلايا غنية بالبلاستيدات الخضراء ويكون انقسام الخيط أولاً مستعرضاً ، ثم يتبعه انقسام في المستويين الآخرين المتعامدين مع المستوى المستعرض . وتتكون نتيجة لهذا الانقسام صفيحة مفاطحة صغيرة الحجم خضراء اللون ، لا تلبث بمتابعة الانقسام أن تتخذ شكلاً قلبياً (شكل ٢٤٨) لتكوين الثالوس الأولي (Prothallus) أو الطور المشيجي . والطرف الأمامي للثالوس مستدير إلى حد ما وبه تجويف أمامي (Sinus) تقع تحت قاعدته مباشرة خلية إنشائية ، أما طرفه الخلفي فدبب . ويعيش هذا الثالوس معتمداً على نفسه في التغذية ومستقلاً عن النبات الجرثومي تمام الاستقلال ، ويتكون من خلايا مستديرة شبه بارنشيمية غنية بالبلاستيدات الخضراء ، وتظل حافته مكونة من طبقة واحدة من الخلايا ، أما الجزء الوسطي منه فيتكون من عدة طبقات ويعرف بالوسادة (Cushion) ، وتخرج من السطح السفلي للوسادة أشباه جذور طويلة وحيدة الخلية بنية اللون ، تتعمق في التربة لتساعد على امتصاص ما بها من ماء وأملاح .

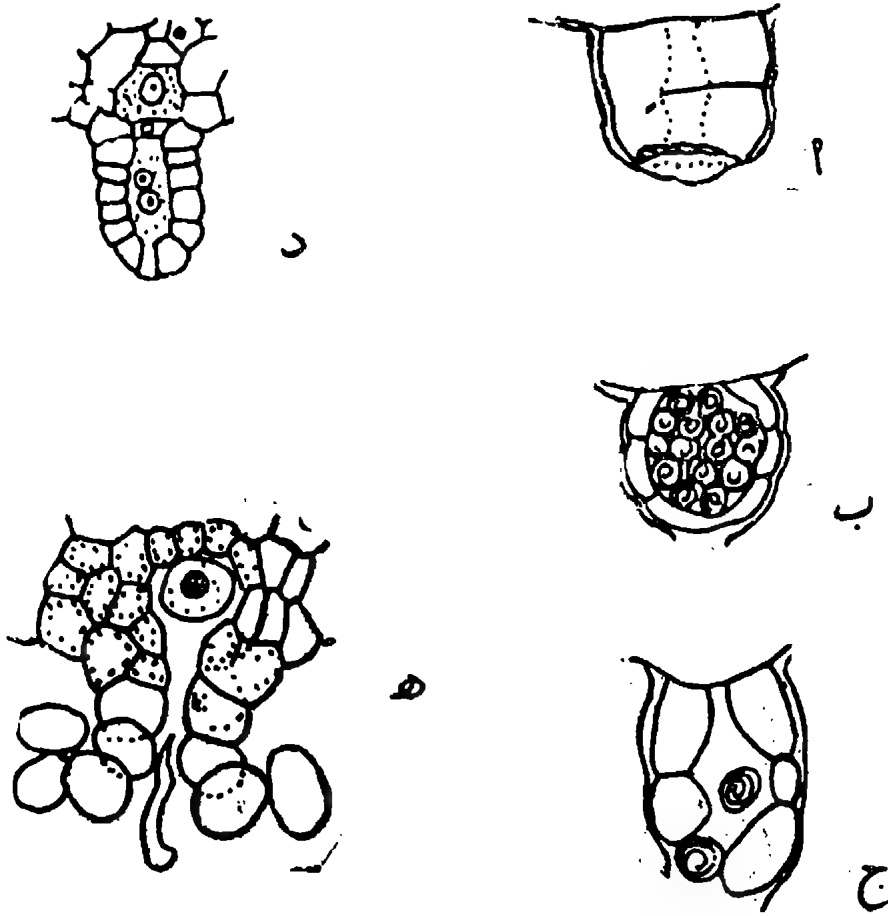
(شكل ٢٤٨)



النبات المشيجي لكزبرة البئر

وتستقر الأعضاء الجنسية - من أنثريدات وأرشيحونات (شكل ٢٤٩ :
ب ، د) - على السطح السفلي^٢ للثالوس الأولي ، وتوجد الأرشيحونات على
الوسادة قرب التجويف الأمامي للثالوس . وتتكون كل أرشيحونة من بطن
مطمور في نسيج الثالوس وعنق بارز يواجه سطح التربة ؛ أما الأنثريدات
فتستقر قرب الطرف الخلفي مختلطة عادة بأشباه الجذور . ويحدث الإخصاب
في وجود الماء ، حيث تعطى كل خلية والد في الأنثريدة سباحة ذكورية

(شكل ٢٤٩)



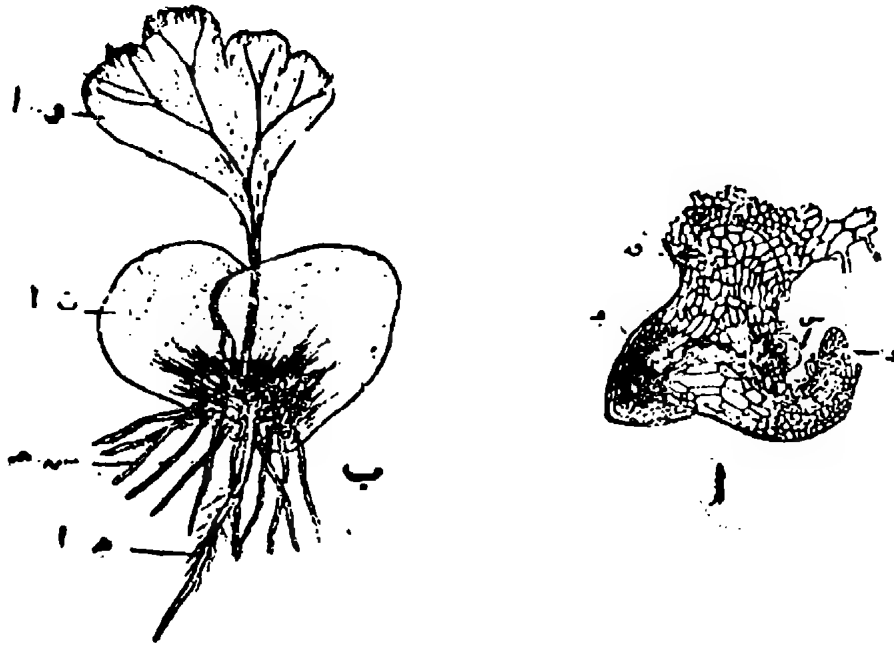
الأعضاء الجنسية للنبات المشيجي لكزبرة البر

- ١ - أنثريدة
- ب - نطاق في الأنثريدة يوضح السباحات الذكرية داخلها .
- ج - محور السباحات الذكرية من الأنثريدة .
- د - الأرشيحونة وبها البيضة والخلية القنوية البطنية .
- هـ - الأرشيحونة الناضجة وقد انحلت الخلايا القنوية العنقية استعداداً لإتمام الإخصاب .

حلزونية الشكل عابدة الأهداب تعوم في الماء حتى تصل إلى الأرضيجونة فتخترق عنقها البارز وتصل إلى البيضة وتندمج نواتا المباحة الذكورية والبيضة لتكوين اللاقحة .

انقسام اللاقحة وتكوين الجنين : تأخذ اللاقحة في الانقسام وتتميز إلى قدم (Foot) وساق ابتدائية (Primary stem) وجذر ابتدائي (Primary root) وورقة أولى (First leaf) ، كما في (شكل ٢٥٠ : أ) ، وتنمو الساق الابتدائية والورقة الأولى ويستمران في التقدم حتى يصل إلى التجويف الأمامي الثالث فينشيا فيه متجهين إلى أعلى ويأخذ لونهما في الانخضار . أما الجذر الابتدائي فيتعمق في التربة لامتصاص الماء والأملاح . ولا يعيش النبات الجرثومي الصغير متطفلا على الثالثس الأولى - أو النبات المشيجي -

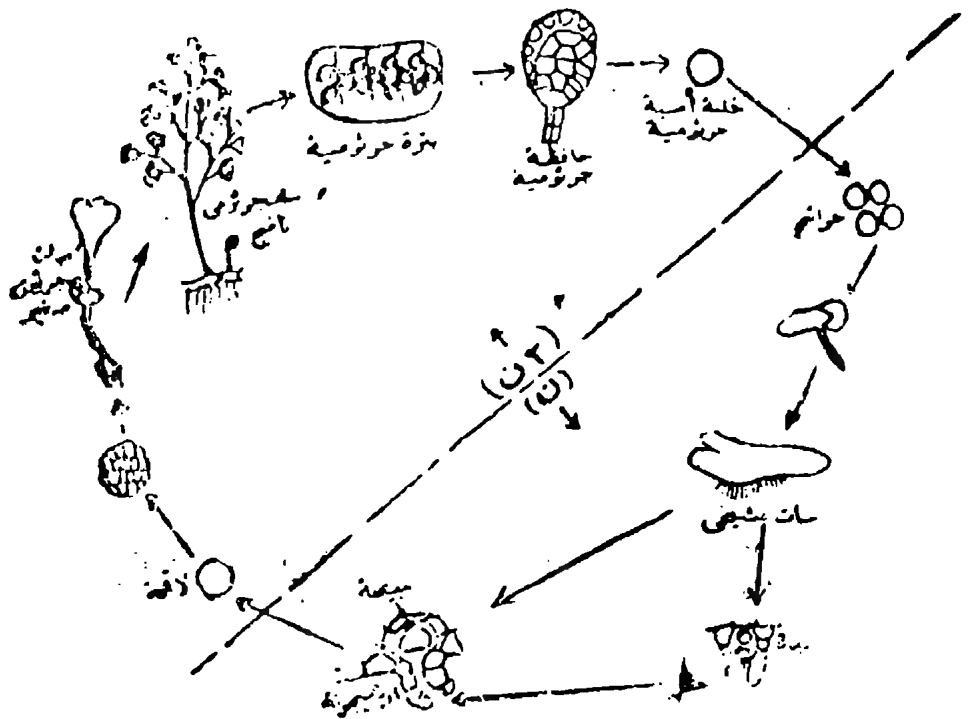
(شكل ٢٥٠)



تتكون الجنين والنبات الجرثومي الصغير في سرخس كزبرة البئر ، ويرى في (١) اطام طولى في الجنين مبيتا مناطق القدم اق) والجذر الابتدائي (٢) والساق الابتدائية (س) والورقة الأولى (و) أما في (ب) فيرى الثالثس الأولى (ث ١) وقد انبثقت منه أشباه الجذور (ش ٢) وأخذت الدبول ، ونمى الجنين إلى نبات جرثومي صغير يظهر فيه الورقة الأولى (و) والجذر الابتدائي (٢.١)

إلا الفترة وجيزة ربما يتم انبساط الورقة الأولى وانخضارها وتكون الجذر الابتدائي (شكل ٢٥٠ : ب) ، ثم يأخذ الثالوس الأولى في الدبول بالتدرج حتى يموت ، وتأخذ الساق الابتدائية للنبات الجرثومي الصغير في الامتداد أفقياً وتتميز عليها أوراق سرخسية وجذور عرضية ، نحل بالتدرج محل الورقة الأولى والجذر الابتدائي اللذين يختفيان بالتدرج ، وهكذا يتم النبات دورة الحياة ، ويرى في (شكل ٢٥١) ملخص لدورة حياة كربيضة البئر .

(شكل ٢٥١)



ملخص دورة حياة سرخس كربيضة البئر ، حيث تتكون جميع الخلايا الوالمة فوق الخط الفاصل ثنائية المجموعة الصبغية (٢ن) وأما تلك الوالمة تحت فتكون أحادية المجموعة الصبغية (ن)

الرصنيات

تحتوي الرصنيات على جنس واحد هو الرصن (Selaginella) . وهو أحد النباتات الوعائية اللابذرية متباينة الجراثيم (Heterosporous) التابعة لقسم النباتات الميكروفيلية ، وتعيش أغلبية أنواعه في المناطق الاستوائية.

وتحت الاستوائية ، بينما تعيش قلة منها في المناطق المعتدلة ، ويتطلب نمو غالبية الأنواع وفرة الظل والرطوبة .

ويتكون النبات الجرثومي (شكل ٢٥٢) من ريزومة ممتدة تتفرع باستمرار تفرعاً ثنائى الشعب ، تنتظم عليها الأوراق في أربعة صفوف ، صفين ظهريين من أوراق صغيرة وصفين بطنيين من أوراق كبيرة ، وتوجد عند كل عقدة ورقتان إحداهما صغيرة ظهرية والأخرى كبيرة بطنية . وتحمل كل ورقة على السطح العلوى لقاعدتها زائدة مثلثة الشكل تعرف باللسين (Ligule) ، ولا تخرج الجذور من الريزومة مباشرة ، بل أن هناك فروعاً خاصة خالية من الأوراق - تخرج عند مناطق تفرع الساق - وتعرف بالحوامل الجذرية (Rhizophores) ، وتنبثق الجذور من أطراف هذه الحوامل الجذرية .

(شكل ٢٥٢)



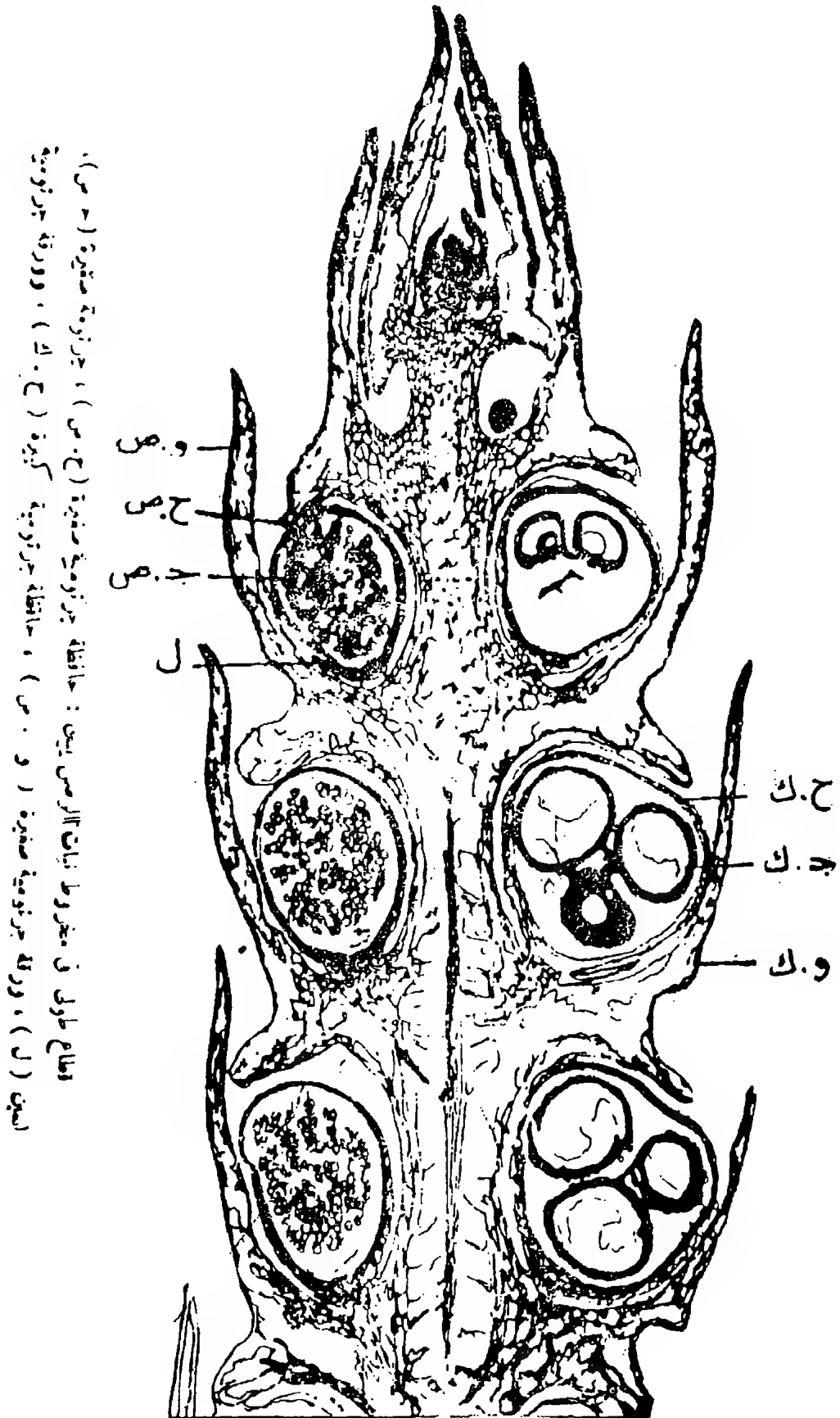
نبات الرمن يمس التفرع ثنائى الشعب للريزومة وانقسام الأوراق في أربعة صفوف ،
وانبثاق الحوامل الجذرية عند نقط التفرع حيث تتكون عند أطرافها الجذور
(عن هوبت)

وتتجمع الأوراق الجرثومية في مخاريط طرفية متميزة (شكل ٢٥٣) ،
وتختلف الأوراق الجرثومية عن الأوراق الخضرية من حيث صغر حجمها
وتساويها وتشابه أشكالها . والأوراق الجرثومية ملسنة (Ligulated) ،
وتتأبط كل ورقة جرثومية بحافظة جرثومية ، وتميز الحواظ الجرثومية
- حسب نوع الجراثيم التي تحتويها - إلى حواظ جرثومية صغيرة (Micro-
sporangia) : تحتوى كل واحدة منها على عدد كبير من الجراثيم الصغيرة
(Microspores) ، وحواظ جرثومية كبيرة (Megasporangia or macro-
sporangia) . تحتوى كل حافظة منها على عدد محدود - غالباً أربعة - من
الجراثيم الكبيرة (Mega - or macrospores) .

ويحمل نفس المخروط النوعين من الحواظ الجرثومية (شكل ٢٥٣) ،
فتوجد الحواظ الجرثومية الصغيرة على أوراق جرثومية تعرف بالأوراق
الجرثومية الصغيرة (Microsporophylls) ، أما الحواظ الكبيرة فتوجد على
أوراق جرثومية تعرف بالأوراق الجرثومية الكبيرة (Megaspophylls) ،
وفي الحافظة الجرثومية الصغيرة تكون جميع الخلايا الوالدة الجرثومية فعالة ،
بمعنى أن كل خلية والدة تنقسم إلى أربع جراثيم . فتمتلئ الحافظة بعدد كبير
من الجراثيم الصغيرة . أما في الحافظة الجرثومية الكبيرة فتأخذ خلية والدة
واحدة في مواصلة النمو والازدياد في الحجم على حساب غيرها من الخلايا
الوالدة الجرثومية ، التي تنحل بالتدريج وتستغل كمادة غذائية للخلية الوالدة
الفعالة ، التي تنقسم إلى أربع جراثيم كبيرة (شكل ٢٥٣ : ج . ك) تكاد
تملأ فراغ الحافظة . وفي بعض أنواع الرصن - كما في سيلاجينلا روبستريس
(*Selaginella rupestris*) - لا تواصل النمو والازدياد في الحجم حتى النهاية
إلا جرثومة كبيرة واحدة من الجراثيم الأربع المتبقية ، فلا تحتوى الحافظة
الجرثومية الكبيرة في هذه الحالة سوى جرثومة كبيرة واحدة .

ويبدأ انقسام الجرثومة الصغيرة لتكوين النبات المشيجي الذكرى وهي
ما زالت حبيسة داخل الحافظة الجرثومية الصغيرة ، ثم يكمل نضجها ويتم

(شكل ٢٥٣)



انقسامها فيما بعد عندما تنتشر وتستقر على التربة . وتنقسم كل جرثومة صغيرة داخلياً إلى خلية صغيرة علمية الشكل - تعرف بالخلية الثالوسية الأولية أو الخضرية (Prothallial or vegetative cell) - وهي تمثل نباتاً مشيجاً ذكرباً على أكبر درجة من الضمور ، أما الخلية الكبيرة المتبقية فتكون الأنثريدة ، التي تحتوى على عدد كبير من الخلايا الموائمة للسباحات الذكرية تنتج كل واحدة منها مباحة ذكرية صغيرة مقوسة ثنائية الأهداب .

وتبدأ الجرثومة الكبيرة كذلك فى الإنبات وهى بداخل الحافظة الجرثومية الكبيرة - ولما يكتمل بعد نموها - فتقسم نواتها إلى عدد كبير من الأنوية ، وتبدأ الجدر فى التكرين عند الطرف المدب للجرثومة الكبيرة ، ولا يلبث جدار الجرثومة أن يتمزق عند هذا الطرف ، ويبرز منه نسيج النبات المشيجى الأنثوى مما يحمل من أرشيجونات وأشباه جنود (شكل ٢٥٤ : أ) أما بقية الفراغ الداخلى للجرثومة الكبيرة فيشغله نسيج تخزينى يستغل الغذاء المحتزن بخلاياه فيما بعد لتغذية الجنين . وتم المراحل الأولى لتكوين النبات المشيجى الأنثوى فى غالبية أنواع الرصن وما زالت الجرثومة الكبيرة حبيسة داخل الحافظة الجرثومية الكبيرة ، غير أن الأرشيجونات لا تظهر عادة إلا بعد تمام انتشار الجرثومة الكبيرة واكتمال نضج الثالوس الأنثوى فى التربة ، وتظهر فى الثالوس عدة أرشيجونات ، تعد كل واحدة منها تقامية فى تركيبها حيث يحتزل فيها عدد الخلايا القنوية العنقية إلى خلية واحدة .

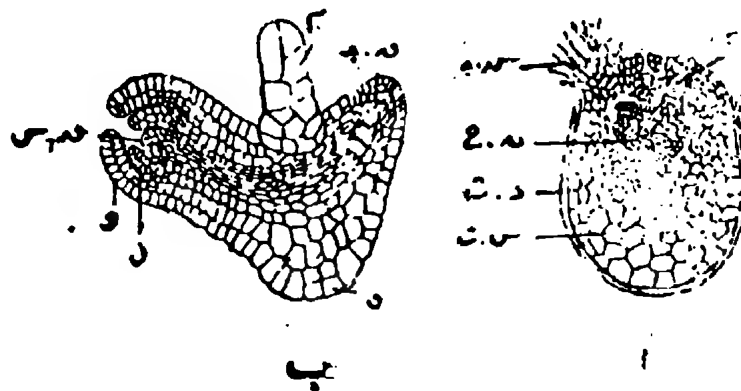
وفى غالبية أنواع الرصن تتم المراحل المتأخرة من تكوين الثالوس الأنثوى واكتمال نضج الأرشيجونات وإتمام عملية الإخصاب فى التربة عند وفرة الماء مثلها فى ذلك مثل غيرها من البتيريات ، وفى بعض الأنواع تظل الجرثومة الكبيرة حبيسة داخل الحافظة الجرثومية ، وفيها يكتمل تكوين الثالوس الأنثوى ونضج الأرشيجونات وتم عملية الإخصاب على النبات الوالد . وقد تستمر الجرثومة الكبيرة حبيسة بعد تلك الخطوات حتى يبدأ الجنين فى الإنبات وفى مثل هذه الحالات تنتقل الجراثيم الصغيرة بعد انتشارها - بواسطة الجاذبية

أو الرياح - لتستقر على الأوراق الجرثومية الكبيرة التي تقع تحتها ، ثم تنتج السابحات الذكورية من الثالوس الذكري الذي يقع بداخلها ، وتتخذ تلك السابحات طريقها في وجود الماء حتى تصل الأرشيجونات ويتم عملية الإخصاب على النبات .

وتعد هذه الخطوات المميزة لبعض أنواع الرصن - من اختزال عدد الجراثيم الكبيرة في كل حافظة إلى واحدة وانتقال الجراثيم الصغيرة لإتمام عملية الإخصاب على النبات - من الخطوات التمهيدية الهامة في تطور البذرة من الحافظة الجرثومية الكبيرة .

ويتم الإخصاب عادة في أرشيجونة واحدة - ونادراً في أرشيجونتين - من الأرشيجونات الناضجة المعرضة في الثالوس الأنثوي . وبعد الإخصاب تنقسم اللاقحة (شكل ٢٥٤) بجدار مستعرض إلى خليتين ، تكون الخلية الملاصقة لعنق الأرشيجونة المعلق (Suspensor) ، أما الخلية الأخرى فتكون الخلية الجنينية (Embryonic cell) ، ويأخذ المعلق في الانقسام والاستطالة دافعاً بالخلية الجنينية إلى أسفل داخل الخلايا التخزينية - للحصول على احتياجاتها الغذائية - حيث يتم انقسامها وتشكل الأعضاء المختلفة للجنين

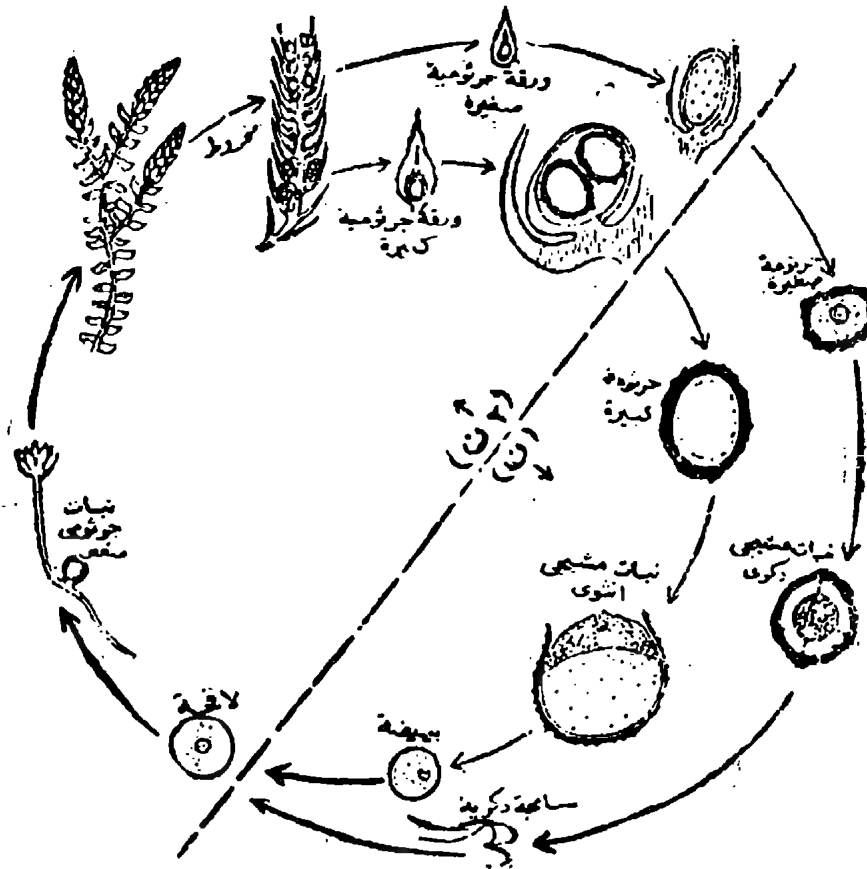
(شكل ٢٥٤)



(١) قطاع طولي للجرثومة الكبيرة لنبات الرصن بين أنشاء المدور (س ج) وجدار الجرثومة (د ت) والنسيج التخزيني (س ث) والجنين مكون من (م) وجنس حقيقي (ن ح) أ و (ب) وهي الجنين الداخلي مكبرة وتتراها به الملق (م) والدمايق المختلفة للجنين الحقيقي وهي : قمة الساق (و س) والبرن (ل ه) والورقة الأولية (أ) وهي الجنين (ك ه) والقدم (ن)

من ساق وأوراق أولية وقدم وجذر ابتدائي . ويعتمد الجنين في المراحل الأولى من تكوينه اعتماداً كلياً على المواد الغذائية المخزنة في الخلايا التخزينية المحصورة داخل جدار الجرثومة الكبيرة ، حتى إذا ما نضب معين هذه المواد واستوى عود الجنين ظهرت البادرة واضحة خارج جدار الجرثومة الكبيرة ، إلا أن البادرة تظل لفترة ما على اتصال بالجرثومة الكبيرة بواسطة القدم حتى يكمل فيها بعد استقلالها . فتتمدد الساق الأولية لتكوين الريزومة ، ويختفي الجذر الابتدائي وتحل محله الحوامل الجذرية المنتهية عند أطرافها بالجذور العرضية ، وهكذا يتم النبات دورة حياته ، ويرى في (شكل ٢٥٥) ملخص لدورة حياة نبات الرصن .

(شكل ٢٥٥)



ملخص دورة حياة نبات الرصن ، ومع الخلايا فوق الخط المرسوم - فيما عدا الجراثيم - ثنائية المجموعة الصبغية (٢ ن) . أما خلايا النبات الواقعة تحت جذر الخط فأحادية المجموعة الصبغية (ن) . (عن روبنز ورسكت) .

وجود نسيج تخزيني متميز داخل الجرثومة الكبيرة لإمداد الجنين بالغذاء - في أولى مراحل تكوينه - تعد صفة تقدمية في المملكة النباتية ، إذ تتميز بها البذريرات أو النباتات البذرية (Spermatophyta) عما دونها من نباتات ، وهي صفة أخرى هامة تتميز بها الرصنيات على غيرها من الأرشيجونات متشابهة الجراثيم وتعد على جانب كبير من الأهمية عند مناقشة العلاقة التطورية بين النباتات الوعائية اللابذرية والبذريرات .

(العلاقة بين النباتات الوعائية اللابذرية والنباتات البذرية)

يلي النباتات الوعائية اللابذرية في سلم تطوّر المملكة النباتية النباتات البذرية أو البذريرات . وليس الانتقال من النباتات الوعائية اللا بذرية إلى البذرية انتقالاً فجائياً ، بل إن هناك من المراحل التي تشمل في وجود النباتات متبينة الجراثيم ما تعزز هذه العلاقة التطورية . وتشمل هذه العلاقة فيما يلي :

(١) ظاهرة بباين الجراثيم .

(٢) اختزال عدد الجراثيم الكبيرة إلى جرثومة واحدة في بعض أنواع الرصن .

(٣) تظلي الجرثومة الكبيرة - وتعرف بالكيس الجنيني (Embryo sac) في البذريرات - حبيبة داخل الحافظة الجرثومية الكبيرة إذ أن :

البويضة (أى البذرة غير الملقحة) = حافظة جرثومية كبيرة تحتوى على جرثومة كبيرة واحدة (كيس جنيني) + غلاف بويضى .

(٤) في البذريرات يتكون غلاف إضافي يحيط بالحافظة الجرثومية الكبيرة ، ويعرف بالغلاف البويضى (Integument) .

(٥) تكوين جهاز خاص لاستقبال الجراثيم الصغيرة : التي تعرف في النباتات البذرية بحبوب اللقاح (Pollen grains) :

(٦) تعطى حبة اللقاح أنبوبة تتخذ طريقها خلال أنسجة الحافظة الجرثومية الكبيرة ، حتى تصل إلى الجرثومة الكبيرة (أى الكيس الجنينى) لإيصال الأنوية الذكورية إلى الجهاز البيضى .

(٧) بظل جنين الطور الجرثومى البنوى متطفلا - فى أولى مراحل تكوينه - على الكيس الجنينى (أى الجرثومة الكبيرة) للطور الجرثومى الوالد .

وهكذا فجميع النباتات البذرية متباينة الجراثيم (الأبواغ) ، وتتواء الحواظ الجرثومية الصغيرة والكبيرة على تراكيب خاصة من أصول ورقية ، شبيهة بالأوراق الجرثومية فى الأرشيجونيات الوعائية اللابذرية ، إلا أنها تأخذ فى التحور عنها إلى درجة كبيرة ، وقد جرت العادة فى النباتات البذرية (Spermatophyta) على تسمية الورقة الجرثومية الصغيرة بالسداة (Stamen) ، والحافظة الجرثومية الصغيرة بكيس اللقاح (Pollen sac) أما الورقة الجرثومية الكبيرة فتعرف بالكربلة (Carpel) ، والحافظة الجرثومية الكبيرة بما تحتوى بداخلها من جرثومة كبيرة واحدة فعالة (أى الكيس الجنينى) ، وبما يحيط بها من غلاف بالبويضة (Ovule) ، وتمثل الأخيرة البذرة قبل إتمام عملية الإخصاب ، ولا تنتشر الجرثومة الكبيرة - أو الكيس الجنينى - خارج البويضة بل تظل حبيسة بداخلها حتى يتم الإخصاب ويتكون الجنين ، أما الثالوس الأنثوى الذى يوجد بداخل الكيس الجنينى فيعرف فى البذرة باسم « الإندوسبرم » .

والبذريرات - مثلها كمثل البتيريات - نباتات وعائية ، يمثل النبات الجرثومى فيها الطور المستقل والسائد فى دورة الحياة ، إلا أنه يصل فى النباتات البذرية إلى درجة كبيرة من التعقيد فى التشكل الخارجى إلى أعشاب وشجيرات وأشجار ، بينما يكون النبات المشيجى على درجة كبيرة من الضمور ، ويظل طول حياته متطفلا على النبات الجرثومى ومعتمداً عليه اعتماداً كلياً لاستيفاء احتياجاته الغذائية .

وتختلف النباتات البذرية فيما بينها من حيث مدى انبساط الكرابل - أو الأوراق الجرثومية الكبيرة - أو إلتفافها حول البويضات إلتفافاً كاملاً لتغطيتها ، ففي عاريات البذور (Gymnosperms) تظل الكرابل منبسطة بحيث تظل فتحة النقيير في كل بويضة معرضة للخارج تعرضاً مباشراً ، أما في كاسيات البذور (Angiosperms) فتتحور الكريبل وتلتف حول البويضات إلتفافاً كاملاً لتغطيتها ، وبذلك تصبح فتحة النقيير غير معرضة للخارج ، وتشكل الكريبل خارجياً تهبياً للبويضات الحبيسة بداخلها وسائل الإخصاب ، وتميز إلى مبيض (Ovary) وقلم (Style) وميسم (Stigma) ، ويستخدم العضو الأخير لاستقبال حبوب اللقاح اللازمة لإتمام عملية الإخصاب . وفي عاريات البذور يتميز بداخل الكيس الجنيني - أو الجرثومة الكبيرة - النبات المشيجي الأنثوي بما يحتوي من أرشيجونات ، فهي تنسب بذلك إلى مرتبة الأرشيجونيات مثاها في ذلك مثل الخزازيات والبتيريات . أما في كاسيات البذور فتختفي الأرشيجونات من داخل الثالوس الأنثوي اختفاء كلياً ، ويحل محلها جهاز بيضي (Egg apparatus) في حالة نووية حرة .

وتسمى الجراثيم الصغيرة في النباتات البذرية حبوب لقاح (Pollen grains) ، ويكون النبات المشيجي الذكري على أكبر درجة من الضمور وموجوداً بكليته داخل حبة اللقاح . ولا ينتج النبات المشيجي الذكري أنثريدات - كما هو الحال في البتيريات - بل يعطي مباشرة سابحتين ذكريتين أو ما يماثلها من أنوية ذكورية (Male nuclei) ، ولا توجد السابحات الذكورية المهلبة أو المتحركة إلا في قسمين من أقسام عاريات البذور الحية ، وهما قسم النباتات السيكادية (Cycadophyta) وقسم النباتات الجنجوية (Ginkgophyta) ، وبعد إنتاج السابحات الذكورية المتحركة صفة بتيرية تتميز بها عاريات البذور البدائية . أما فيما عداها من النباتات البذرية فتختفي السابحات الذكورية المتحركة اختفاء كلياً وتحل محلها أنوية ذكورية ، وتصل هذه الأنوية - إلى الأرشيجونات في عاريات البذور . وإلى الجهاز البيضي في كاسيات البذور - بواسطة أنابيب اللقاح . ويتكشف الجنين داخل البويضة المخضبة ، والتي تسمى حينئذ بالبذرة .

وتعد النباتات البذرية من أوسع أقسام المملكة النباتية انتشاراً أو أكثرها رقياً ، إذ تحتوى على أكثر من ١٩٦٠٠٠ نوع ، منتشرة فى جميع أرجاء العالم وموزعة فى بيئات مختلفة . وتحتوى النباتات البذرية على مجموعتين رئيسيتين هما :

١ — عاريات البذور (Gymnosperms) .

٢ — كاسيات البذور (Angiosperms) .

وجميع النباتات عاريات البذور الحالية نباتات خشبية ، أما كاسيات البذور فمنها الخشبية والعشبية ، وسنتحدث فى الأبواب التالية عن كل منها بالتفصيل .

الباب الرابع والعشرون

عاريات البذور

تتميز النباتات عاريات البذور (Gymnosperms) بأن بذورها توجد عارية على الكريهة ، ولا تحيط بها الأخيرة لإحاطة كاملة كما هو الحال في كاسيات البذور . وتحتوى عاريات البذور على حوالى ٧٠٠ نوع ، وهي موزعة بين عدة أقسام وطوائف ورتب ، منها الحفرى ومنها الحى ، ويعد قسم النباتات المخروطية (Coniferophyta) أكثر رتبها الحية انتشاراً ورقياً ، إذ تحتوى على ما يزيد على ٥٠٠ نوع موزعة بين أربعين جنساً ، توجد منتشرة فى المناطق المعتدلة الشمالية والجنوبية ، ويندر وجودها فى المناطق الاستوائية ، وغالبية المخروطات أشجار وقليل منها شجيرات ، وسندرس نبات الصنوبر (Pinus) كمثل لها .

الصنوبر

يحتوى جنس الصنوبر على حوالى ٧٥ نوعاً ، يغلب وجودها فى النصف الشمالى من الكرة الأرضية ، وهي أشجار خشبية دائمة الخضرة وعطرية . وتمثل الشجرة ذاتها النبات الجرثومى ، وتتكون من جذع رئيسى كبير مثبت فى التربة بمجموع جذرى كبير متفرع ، يمتد إلى أعلا حاملاً فروعاً جانبية تنتظم عليه فى تعاقب فى ، بمعنى أن أقصر الفروع وأحدثها عمراً تقع قرب القمة ، أما أكبرها سناً فتستقر عند القاعدة ، ومن ثم تتخذ الشجرة شكلاً مخروطياً . وتنتظم على الفروع - فى ترتيب حلزوني - أوراق حرشفية ، تتأبط كل ورقة منها برعماً ، إما أن ينمو ليكون ساقاً طويلة (Long shoot) غير محدودة النمو تشبه الجذع الرئيسى للشجرة ، وإما أن يكون ساقاً قصيرة للغاية تعرف بالساق القزمية (Dwarf shoot) تحمل أوراقاً طويلة إبرية الشكل ، تعرف بالأوراق الخضرية (شكل ٢٥٦) ، يختلف عددها باختلاف

الأنواع ، ففي نوع الصنوبر وحيد الورقة (*Pinus monophylla*) تحمل كل ساق قزمية ورقة خضرية واحدة ، وفي غالبية الأنواع يتراوح عدد الأوراق الخضرية — على كل ساق قزمية — بين إثنين وثلاث ، وقد يكون عددها أربعاً في نوع الصنوبر رباعي الأوراق (*Pinus quadrifolia*) ، وقد يصل إلى خمسة في بعض الأنواع .

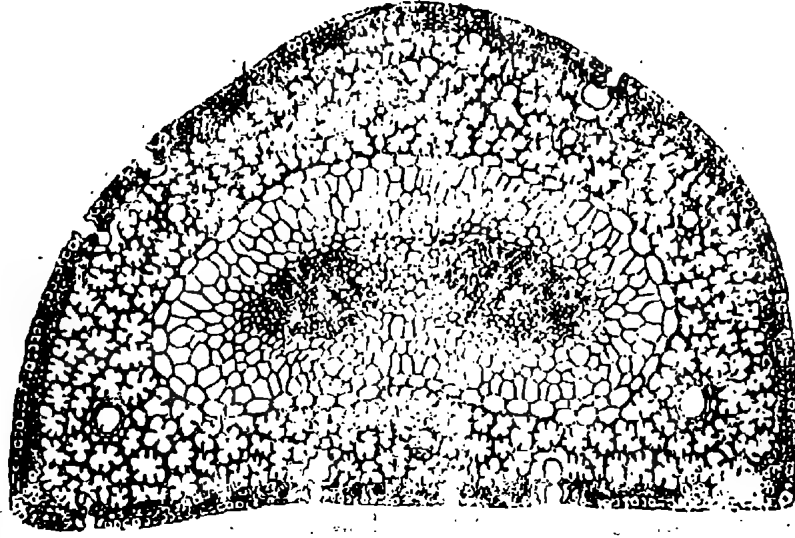
تشرح الورقة : (شكل ٢٥٧) : تتميز ورقة الصنوبر بأنها مهيأة لكي تتحمل الظروف البيئية القاسية ، فتوجد بشرة مكونة من طبقة واحدة من

(شكل ٢٥٦)



جزء من نبات الصنوبر بين : (س. ط) ساق طويلة تحمل غاربطاً أنثوية ، ويمثل (١٠ م) الغاربط الأنثوي للموسم الحالي و (١١ م) الغاربط الأنثوي القادم من الموسم الماضي ، (و. ح) ورقة خضرية ، (س. ن) ساق قزمية (س. ب. ل.)

(شكل ٢٥٧)



اطاع مستعرض في ورقة الصنوبر ، ويرى السطح السفلي لاورقة في أعلى الصورة والعلوي
بأسفلها

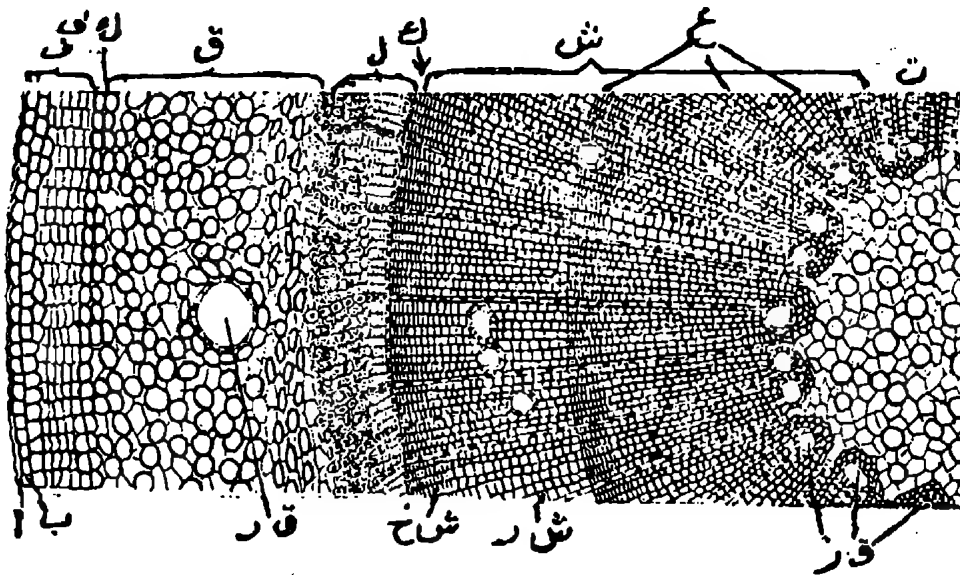
خلايا تتميز جدرها بشدة تأدمها . أما الثغور فلا توجد في مستوى البشرة بل تستقر غائرة عن مستوى السطح الخارجى للورقة . وتقع تحت البشرة مباشرة طبقة أو أكثر من خلايا سكارنشيمية تكون طبقة تحت بشرية (Hypodermal layer) ، تتميز جدر خلاياها أيضاً بشدة تغلظها . وخلايا البشرة وطبقة تحت البشرة غير تامة الاتصال بسبب وجود حجرات هوائية تتخللها وتصل ما بين الثغور الغائرة والخارج . أما النسيج الوسطى (Mesophyll) الذى يعتبر النسيج التمثلى للورقة — فلا تتميز خلاياه إلى عمادية وإسفنجية كما سبق الشرح فى النباتات الزهرية ، بل تكون متشابهة ، وهى خلايا مدمجة غنية بالنشا والبلاستيدات الخضراء ، وتتميز بجدرها المطوية التى تمتد منها إلى الداخل زوائد سليلوزية ، وتنتثر بينها قنوات راتنجية (Resin ducts) ، وهى قنوات طويلة تتكون بين الخلايا وتبطنها خلايا مفرزة للراتنج . ويفصل الجزء المركزى من الورقة عن النسيج الوسطى بشرة داخلية (Endodermis) تلوها طبقة محيطية (Pericycle) تحيط بالنسيج الذى يحتوى على الحزم الوعائية . ويختلف عدد الحزم الوعائية باختلاف الأنواع ، ويتراوح بين واحدة

واثنتين . والحزمة الوعائية جانبية (Collateral) يتجه فيها اللحاء - الخالي من الخلايا المرافقة - نحو السطح السفلى المحدب ، بينما يتجه الخشب - الخالي من الأوعية - نحو السطح العلوى المستوى . وتوجد الحزم الوعائية مطمورة في نسيج - تحده من الخارج الطبقة المحيطة - يعرف بنسيج الإصفاق (Transfusion tissue) ، ويتكون من خلايا بارنشيمية مختلطة بخلايا فارغة ميتة مضغوطة النقر تعرف بالخلايا القصيدية (Tracheidal cells) ، وتتميز خلايا نسيج الإصفاق المجاورة للحاء بوفرة البروتينات ، وتعرف بالخلايا الزلالية (Albuminous cells) .

ويشبه الصنوبر - من حيث المميزات التشريحية للورقة - النباتات الصحراوية مشابهة كبيرة ، وذلك في شدة تأدم البشرة ووجود طبقة تحت بشرية وتعمق الثغور ، مما يساعد على الإقلال من التتح .

تشريح الساق (شكل ٢٥٨) : يشبه القطاع المستعرض في ساق الصنوبر الحديثة مثيله في نبات ذى فلقين ، فتحيط بالساق بشرة متألدة ، قد توجد

(شكل ٢٥٨)



قطاع مستعرض في ساق الصنوبر يبين من الخلل إلى الداخل : الأدمة (أ) ، البشرة (ب) ، فلين (ف) ، كامبيوم فليي (ك . ف) ، قشرة (ق) ، قناة وانتجية (ق . ر) ، لحاء (ل) ، كامبيوم (ك) ، خشب ثانوى (ش) ، خشب خريفي (ش . خ) ، خشب ربيعي (ش . ر) ، أشعة نخامية (ع) ، نخاع (ن) ، ويرى الخشب الابتدائي قرب النخاع (عن سميت) .

تحتها خلايا سكلرنشيمية مكونة طبقة تحت بشرية ، ثم قشرة من خلايا بارنشيمية بينها قنوات راتنجية ، تليها بشرة داخلية وطبقة محيطية تحيط بالأسطوانة الوعائية وتتكون الأخيرة من حلقة من حزم وعائية جانبية داخلية الخشب الأول (Collateral endarch) ، تفصل ما بينها أشعة نخاعية ويتوسطها نخاع ، والحزمة الوعائية مفتوحة ، بمعنى أنه يوجد كامبيوم حزمى بين الخشب واللحاء ، ولا توجد في اللحاء خلايا مرافقة بل يتكون من أنابيب غربالية وبارنشيمية لحاء ، كما لا توجد في الخشب أوعية على الإطلاق .

ومن ثم فيشارك الصنوبر النباتات البتيرية — من الوجبة التشرنجية — في غياب أوعية الخشب والخلايا المرافقة في اللحاء ، كما يشابه النباتات ذوات الفلقتين في طريقة ترتيب الحزم الوعائية وحدوث تغلظ ثانوى ، مماثل تماماً لما يحدث في سيقان النباتات الزهرية من ذوات الفلقتين ، حيث يتكون لحاء ثانوى وحلقات خشب سنوية . والخشب الثانوى — كالخشب الابتدائى — خال من الأوعية وتنتشر فيه القنوات الراتنجية ، كما لا توجد بين عناصر اللحاء الثانوى خلايا مرافقة ، ويتكون كامبيوم فائى بمنتجاته من خلايا فلين وقشرة ثانوية وعديسات .

المخاريط (Cones or strobili) : يحمل النبات الأسدية والكرابل في مخاريط منفصلة ، ومن ثم فيعد الصنوبر أحادى المسكن (Monoecious) ، أما المخاريط الذكورية (Male strobili) — وتعرف أيضاً بالمخاريط السدائية (Staminate strobili) — فتنتظم في مجموعات حول قاعدة البراعم الطرفية لغالبية الفروع البالغة (شكل ٢٥٩) ، ويمكن التعرف عليها خلال فصل الشتاء السابق لفصل الربيع الذى يتم فيه بروزها ونضجها . وتغطى المخاريط الذكورية أثناء فصل الركود بحراشيف برعمية بنية اللون ، لا تلبث أن تأخذ في التساقط في باكورة فصل الربيع بسبب الازدياد في أحجام المخاريط الذكورية .

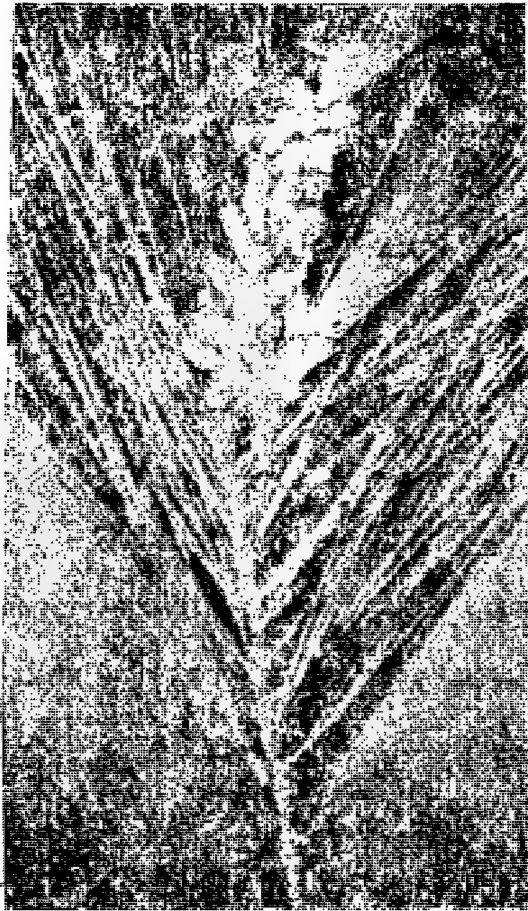
أما المخاريط الأنثوية (Female strobili) — وتعرف أيضاً بالمخاريط البويضية (Ovulate strobili) — فتنتظم على فروع جانبية قصيرة تتكون

على مقربة من أطراف بعض الفروع الأحدث سنّاً للموسم الحالي (شكل ٢٥٦).
ومن ثم فلا يمكن رؤيتها بوضوح إلا بعد انبساط البراعم الطرفية لهذه الفروع
واستطالتها ، وتكون عند بدء ظهورها خضراء اللون طرية ، حتى إذا ما تم
تأقيحها أخذت في التصلب وأصبح لونها بنياً .

المخروط الذكري أو السدائي :

يتكون المخروط الذكري من عدد من الأسدية (Stamens) - التي
تعرف أيضاً بإسم الحراشيف السدائية (Staminate scales) - تنتظم على
محوره في ترتيب حلزوني شبيه بترتيب الأوراق الحرشفية (شكل ٢٦٠) .

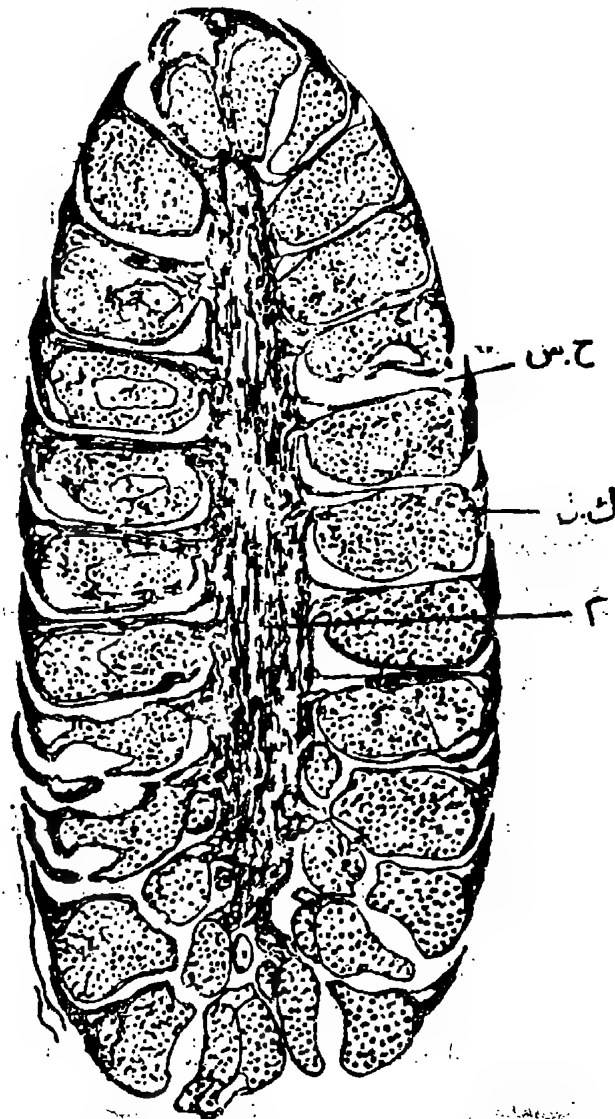
(شكل ٢٥٩)



جزء من نبات الصنوبر يبين التوزيع الذكري والرمح
المخضوي في القمة (عن بولد)

والسداة أو الحرشفة السدائية ضامرة ، تتكون من عنق ينتهي بطرف منتفخ ، وتحمل كل سداة على سطحها السفلي كيس لقاح (Pollen sacs) بمائلان الحوافظ الجرثومية الصغيرة في النباتات الوعائية اللابذرية متباينة الجراثيم ، أو ما تعرف في النباتات البذرية بحبوب اللقاح (Pollen grains). وتتحرر حبوب اللقاح عن طريق شق طولي يظهر في كيس اللقاح في منطقة تتميز خلاياها بركة جدرانها ، ولكل حبة لقاح جناحان يعملان على مساعدتها في الانتشار بوساطة الرياح .

(شكل ٢٦٠)



قطاع طولى في المخروط الذكري الصنوبر يبين : محور
المخروط (م) ، سداة أو حرشفة سدائية (ح . س) ،
كيس لقاح (ك . ل)

ويبدأ انقسام حبة اللقاح وهي ما زالت حبيسة داخل كيس اللقاح ،
فتتميز عند قاعدتها خليتان صغيرتان عدسيتا الشكل تعرفان بالخليتين
الخضريتين (Vegetative cells) تمثلان نباتاً مشجياً ذكورياً ضامراً للغاية ،
أما الخلية الباقية الكبيرة فتسمى بالخلية الأنثريدية (Antheridial cell) ،
وتنتثر حبة اللقاح وهي على هذه الدرجة من الانقسام (شكل ٢٦٢ : ب) .

المخروط الأنثوي أو البويضي : يتكون المخروط البويضي من عدد من
الأوراق الجرثومية الكبيرة - أو الكرابل (Carpels) - تنتظم على محوره
في ترتيب حلزوني (شكل ٢٦١ : أ) ، وتتميز كل كربلة (شكل ٢٦١ : ب)
إلى حشفة كبيرة علوية تعرف بالحشفة البويضية (Ovuliferous scale)
وأخرى صغيرة تقع أسفلها وتعرف بالحشفة القنابية (Bract scale) ،
وتحمل كل حشفة بويضية على سطحها العلوي بويضتين مقلوبتين (Inverted
ovules) ، بمعنى أن فتحة النقيز تنبجه نحو محور المخروط .

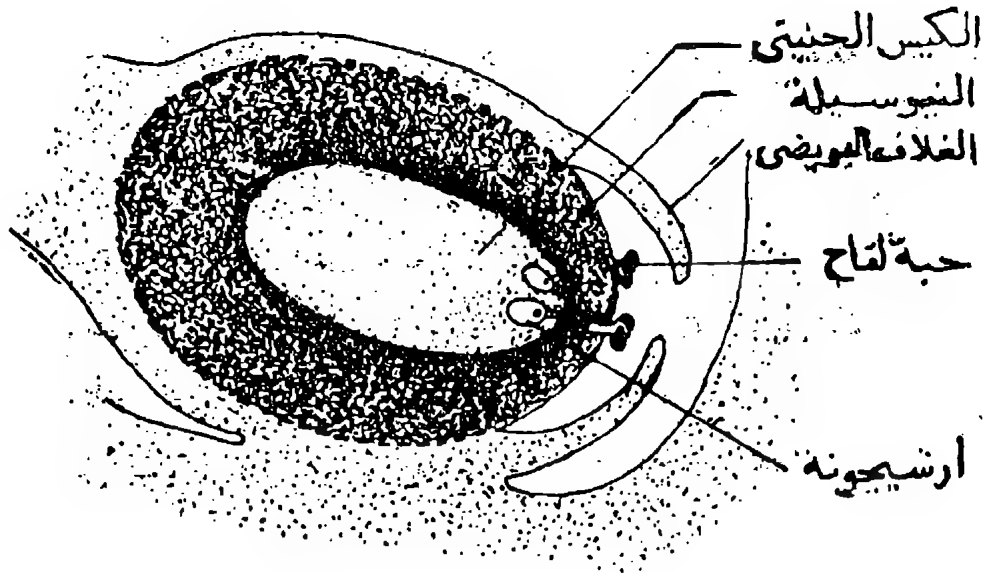
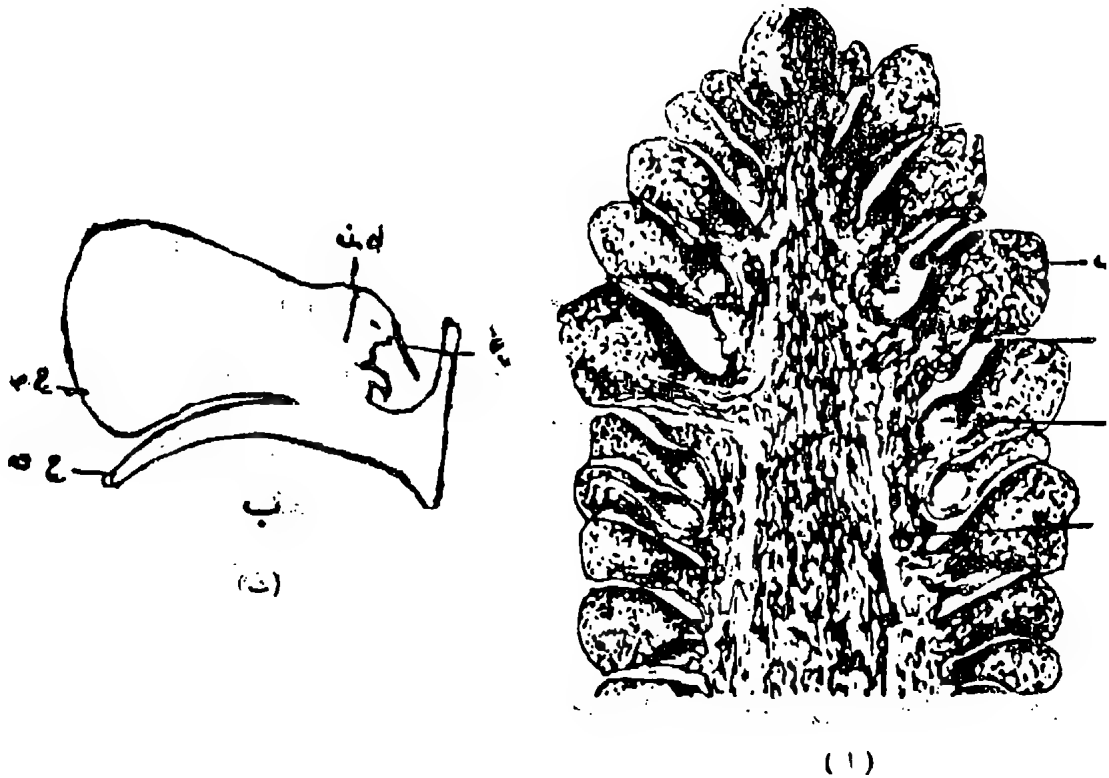
يبين قطاع طولى في البويضة (شكل ٢٦١ : ج) التراكيب الآتية :

(١) كيس جنيني (Embryo sac) يتوسط البويضة وبداخله الثالوس
الأولى الأنثوي (Female prothallus) ، تستقر الأرشيجونات عند طرفه
المجاور لفتحة النقيز ، ويتراوح عدد الأرشيجونات بين اثنتين وخمس حسب
الأنواع .

(٢) تحيط بالكيس الجنيني النيوسيلة (Nucellus) والغلاف البويضي
(Integument) ، ويلتحسان معاً على مدى امتداد البويضة فيما عدا الطرف
الأمامي منها ، حيث يكون الجزء المنفصل من النيوسيلة تركيباً مخروطياً مميزاً .

(٣) يمتد الجزء المنفصل من الغلاف البويضي ليكون أنبوبة النقيز
(Micropyle) ، ويعد النقيز في البويضة بمثابة جهاز إضافي - بالنسبة للحافظة
الجرثومية الكبيرة البتيرية - لاستقبال حبوب اللقاح ، وهو جهاز مستمد
من الغلاف الإضافي للبويضة .

(شكل ٢٦١)



(ج)

المحروط الأعلى نبات الصنوبر وبرى : (١) غطال طولى بين المحود (م) والمرشفة
القنابية (ح . ن) والمرشفة البويضية (ح . ب) والبويضة (ب) ويغلق الشكل (ب)
جود مكبر من المحروط يظهر فيه الكيس الجنينى (ك . ن) والذلاف (ع) والمرشفة البويضية
(ج . ب) والمرشفة القنابية (ح . ن) . أما شكل (ج) فيبين طالغ طولى البويضة

(٤) يتميز الغلاف البويضي داخلياً إلى ثلاث طبقات : طبقة وسيطة متحجرة تحيط بها طبقتان لحميتان ، إحداهما من الداخل والأخرى من الخارج .

التلقيح والإخصاب : يقصد بالتلقيح (Pollination) انتقال حبوب اللقاح من أكياس اللقاح إلى البويضات ، ويتم ذلك بوساطة الرياح ، ويكون المخروط البويضي الصغير على أتم أهمية للتلقيح في باكورة تكويره وبمجرد ظهوره من البرعم . وقيل وقت التلقيح تأخذ الأجزاء الخارجية للحراشيف البويضية في الابتعاد عن بعضها البعض بدرجة طفيفة لتهيئ فيها بينها شقوقاً تسمح لحبوب اللقاح - التي تحملها الرياح - أن تتخذ طريقها إلى داخل المخروط لتستقر عند فتحة النقر في البويضة ، وتفرز هذه الفتحة سائلاً هلامياً تلتصق به حبوب اللقاح ، حتى إذا ما أخذ السائل الهلامي في الجفاف بالتدريج امتص معه حبوب اللقاح فتتخذ خلال فتحة النقر لتستقر عند طرف الجزء المنفصل من النيوسيلة . وبعد أن يتم التلقيح تأخذ الخلايا السطحية للحراشيف البويضية في الانقسام فتعمل على سد الفرج التي بين الحراشيف وانغلاق المخروط .

وتكون حبة اللقاح حينئذ مكونة من خلية أنثريدية وخليتين خضريتين (شكل ٢٦٢ : ج) ، تمثلان نباتاً مشيجاً ذكوريا ضامراً ولا تلبثان أن تأخذا في الانحلال . أما الخلية الأنثريدية فتتقسم بجدار محيطي - مواز للسطح الخارجي لحبة اللقاح - إلى خلية وسطية تعرف بالخلية التناسلية (Generative cell) وأخرى خارجية تعرف بالخلية الأنبوبية (Tube cell) - كما في شكل (٢٦٢ : د) وتأخذ الخلية الأنبوبية في الامتطالة والامتداد داخل النيوسيلة (شكل ٢٦١ : ج) على هيئة أنبوبة تعرف بأنبوبة اللقاح (Pollen tube) ، تنتقل إليها نواة الخلية الأنبوبية .

ويقف إنبات حبة اللقاح عند هذه المرحلة ، وتستمر في حالة سكون لفترة طويلة قد تصل إلى حوالى عام ، وعند معاودة نشاطها تأخذ أنبوبة اللقاح في التعمق داخل النيوسيلة ، وتنقسم الخلية التناسلية (شكل ٢٦٢ : هـ) بجدار مستعرض إلى خلية قاعدية تعرف بالخلية العنقية (Stalk cell) وأخرى

كبيرة نسبياً تعرف بالخلية الجسدية (Body cell) ، وتنقسم الخلية الأخيرة بدورها إلى خليتين ذكريتين (Male cells) ، مختلفان حجما .

وتتحرر الأنوية من داخل خلاياها ، وتنتقل أنوية الخلايا الأنبوية والعنقية والذكورية بالتتابع إلى طرف أنبوبة اللقاح ، وتواصل أنبوبة اللقاح نموها داخل النيوسيلة حتى تصل إلى عنق الأرشيجونة فتحطمها ويتمزق طرف أنبوبة

(شكل ٢٦٢)

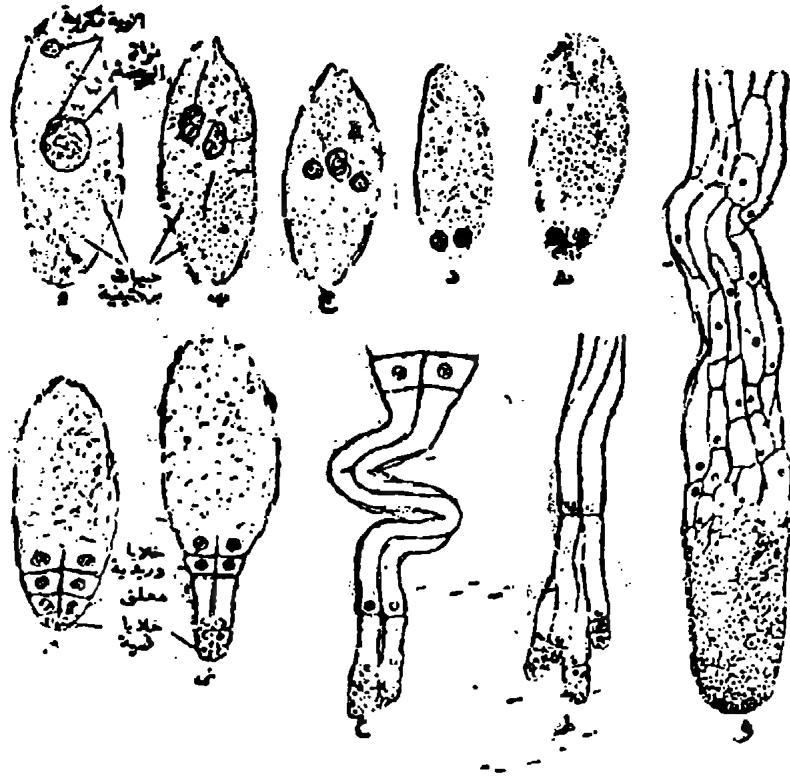


انقسام حبة اللقاح في الصنوبر وطريقة انباتها : (أ) حبة اللقاح وبرئ على كل جانب منها كيس هوائي (ك . هـ) ، (ب) انقسام الحبة إلى خلية خضرية (خ . ر) و خلية أنثريدية (خ . ت) ، (ج) ظهور خلية أخرى خضرية (د) انقسام الخلية الأنثريدية إلى خلية تناسلية (خ . س) وأخرى أنثوية (خ . ب) ، (هـ) انقسام الخلية التناسلية إلى خلية عنقية (خ . ع) وأخرى جسدية (خ . ح) واستطالة الخلية الأنثوية إلى أنبوبة اللقاح (ا . ل) تستقر نواتها (ن . ل) عند الطرف .

اللقاح لتفرغ كافة محتوياتها في الأرشيجونة . وتنحل الأنوية الأنبوبية والعنقية وإحدى النواتين الذكريتين ، أما النواة الذكرية المتبقية فتتحد مع نواة البويضة لتكوين نواة اللاقحة ثنائية المجموعة الصبغية .

تكوين الجنين والبلورة : تنقسم نواة اللاقحة إلى ست عشرة نواة ، تنظم في أربع طبقات ، كل طبقة مكونة من أربع خلايا (شكل ٢٦٣) ؛ وتنشأ الأجنة (Embryoes) من الخلايا الأربع للطبقة الطرفية ، أما خلايا الطبقة تحت الطرفية فتكون المعلقات (Suspensors) ، وتعرف الطبقة الثالثة بالطبقة

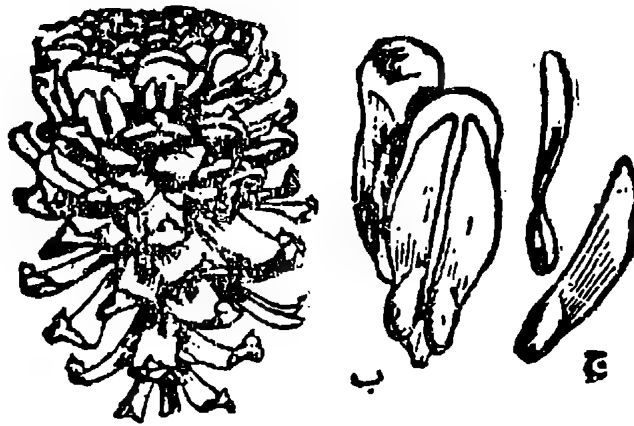
(شكل ٢٦٣)



لإحصاء وتكوين الجنين والبلورة : (أ) اندماج إحدى النواتين الذكريتين مع نواة البويضة ، (ب) خواتم النجوان عن أنقسام نواة اللاقحة ، (ج) تكوين أربع أنوية نتيجة أنقسام النواتين الذكريتين في ب ، (د) انقسام الأربعة أنوية (لا يرى و الشكل إلا إثنين منها) إلى قاعدة البويضة ، (هـ) أنقسام الأربع أنوية إلى ثمان ، تنظم في طابقين ، كل طابق يشمل أربع خلايا ، لا يرى إلا إثنين منها ، (ز - ح) استطالة خلايا المعلق وانقسام الخلايا القبية ، (ط) مرحلة متقدمة في تكوين الأربعة أجنة ، (لا) جنين واحد يواصل النمو . أما الثلاثة الأخرى فيكون مآلها الانحلال (ع ج سميت)

الوريديّة (Rosette tier) ، أما خلايا الطبقة الرابعة فتكون الخلايا الماصة (Haustorial cells) . وتأخذ المعلقات في الاستطالة دافعة بالأجنة إلى أسفل داخل أنسجة الثالوس الأولى الأنثوي ، وتنفصل الخلايا المكونة للأجنة وقد تكون أربعة أجنة، وتعرف مثل هذه الحالة بالتضاعف الجنيني (Polyembryony) ولكن لا يصل منها عادة إلى مرتبة النضج سوى جنين واحد ، ولا يلبث الجنين المتكون أن يتميز إلى ريشة وجذير (شكل ٢٦٥ : على اليسار) ويتراوح عدد الفلقات بين ثلاث وسبع عشرة حسب الأنواع ، أما الجزء المتبقى من الثالوس الأولى الأنثوي فيظل محيطاً بالجنين لتكوين الإندوسبيرم . ويتصلب الغلاف البويضي ليكون غلاف البذرة أو القصرة (Testa) ، ويلتصق بالبذرة غشاء رقيق — مستمد من السطح العلوي للحرشفة البويضية — ليكون جناحاً يساعد على انتشارها بواسطة الرياح (شكل ٢٦٤ : ب ، ج) .

(شكل ٢٦٤)

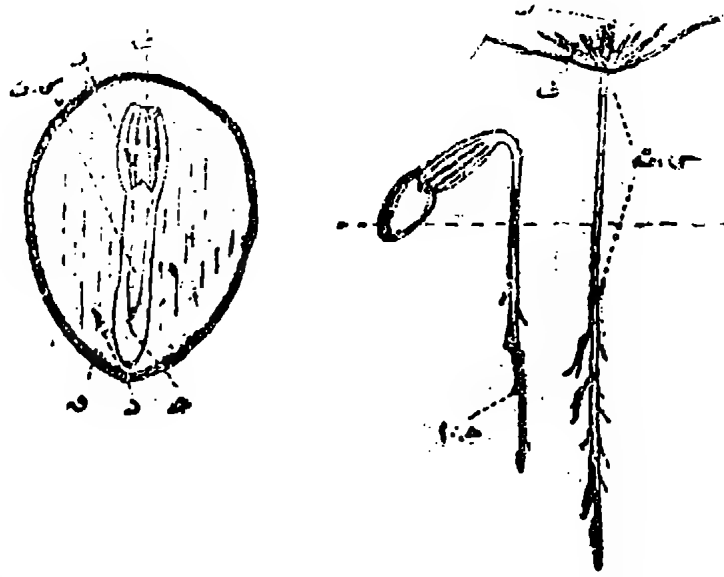


المخروط الأنثوي لنبات الصنوبر : (١) بعد إتمام الإخصاب وتكوين البذور ، (ب) بقرتان متولدتان على الحرشفة البويضية ويلتصق بكل منهما غشاء رقيق أو جناح ، (ج) الانفصال التام لكل بذرة مع الجناح

وبعد تكوين البذور يأخذ المخروط البويضي في التضخم وتزداد الحراشيف البويضية حجماً وتصبح صلبة خشبية (شكل ٢٦٤ : ١) ، أما الحراشيف القنابية فيكون من الصعب تمييزها . وعندما تنهياً للبذرة الظروف المناسبة للإنبات (شكل ٢٦٥ على اليمين) ينبثق الجذير من القصرة ويتعمق في

التربة ليعطى المجموع الجذري ، وتأخذ السويقة تحت الفلقية (Hypocotyl) في الاستطالة حاملة معها الفلقات والريشة فوق سطح الأرض ، وتتخذ الفلقات لوناً أخضر ، وعلى ذلك فالإنبات هوأى . وبين (شكل ٢٦٦) ملخص دورة حياة نبات الصنوبر .

(شكل ٢٦٥)



التركيب الداخلى للبذرة المصغرة وطريقة إنبات البادرة ، ويرى إلى اليسار قطاع طولى للبذرة ، وإلى اليمين من جانبيها : (أ) جذر ، (ب) ساق ، (ج) ريشة ، (د) سويقة تحت فلقية ، (هـ) غدير ، (و) إندوسبرم ، (ز) قشرة ، (ح) جذر ابتدائي .

الباب الخامس والعشرون

كاسيات البذور

تنفرد النباتات كاسيات البذور (Angiosperms) ببعض الخصائص التي تميزها عن النباتات عاريات البذور ، وتشمل هذه الخصائص الشكل الخارجى والصفات التشريحية ، ومن أهمها وجود الأوعية الخشبية والخلايا المرافقة في النباتات كاسيات البذور وحدها دون نباتات الأقسام الأخرى ، وقد تناولنا هذه الصفات بالشرح في الأبواب السابقة .

ومن الصفات التي يتضح فيها الفرق بين كاسيات البذور وعاريات البذور هي طريقة انتظام البويضة ' (Ovule) ، ففي الأولى تحاط البويضة بورقة جراثومية كبيرة (Megasporophyll) إحاطة شاملة ، وتكون معزل عن الخارج ، ويطلق على هذا التركيب اسم كربة (Carpel) . وعلى هذا لا تستقر حبوب اللقاح على البويضة نفسها كما هو الحال في عاريات البذور ولكن على جزء مستقبل من الكربة يعرف بالميسم (Stigma) ، ولذلك تشق أنبوبة اللقاح عند نموها طريقاً أطول في حالة النباتات كاسيات البذور . وفي معظم هذه النباتات تحاط الكرابل بأعضاء الذكر - التي يطلق عليها اسم الأسدية (Stamens) - ثم يحيط بها من الخارج عدد من الأوراق المغلفة ، ويعرف هذا التركيب بالزهرة .

الزهرة :

تعتبر الزهرة فرعاً قصيراً متحوراً ، يحمل أوراقاً تحورت لغرض التكاثر متزاحمة لا تفصلها سلاميات واضحة ، وتنشأ الزهرة عادة في إبط ورقة تسمى قنابة (Bract) ، وتباين القنابات من حيث الشكل واللون ، فأحياناً تشبه الأوراق العادية . وغالباً ما تكون حرشفية ، وفي بعض النباتات تكون ملونة كما في الجهنمية (Bougainvillea) . وتحمل الزهرة على عناق في بعض

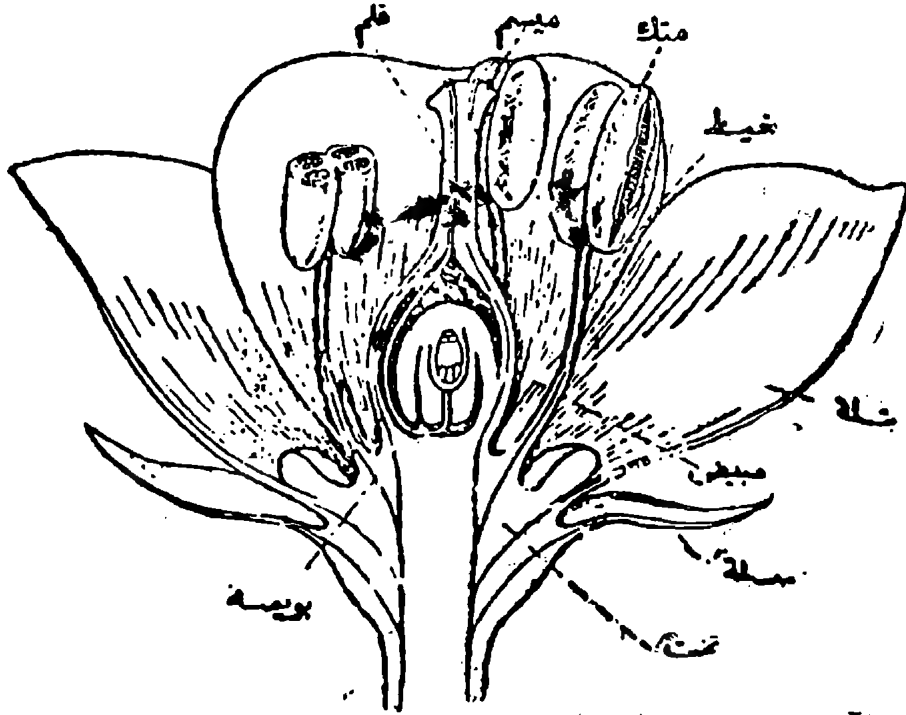
النباتات ، وفي البعض الآخر تكون جالسة (Sessile) ، وقد توجد على عنق الزهرة أحياناً أوراق تعرف بالقنبيات (Bracteoles) ، وعددها إثنان جانبيتان .

ويطلق على جانب الزهرة المواجه لمحور النورة اسم الجانب الخلفي (Posterior side) ، بينما يعرف الجانب المقابل له باسم الجانب الأمامي (Anterior side) ، وهو الجانب المواجه للقنابة . وتركب الزهرة عادة من جزء متضخم يعرف بالتخت (Thalamus or receptacle) ، يقع عند نهاية العنق إذا وجد ، ويحمل الأوراق الزهرية التي تنظم في محيطات متتابعة (شكل ٢٦٧) ، وهذه المحيطات هي الكأس والتويج والطلع والمتاع .

الكأس (Calyx) : تمثل الكأس المحيط الخارجي للزهرة ، وتركب من أوراق صغيرة خضراء ، تعرف بالسبلات (Sepals) ، وظيفتها حماية الأجزاء الزهرية الأخرى في البرعم الزهري ، وقد تكون السبلات منفصلة أو ملتحمة وقد تسقط مبكرة عند تفتح الزهرة وتعرف بالكأس المتساقطة (Caducous) كما في زهرة الخشخاش (Papaver sp) ، أو تظل باقية بعد تكوين الثمرة وتعرف بالكأس المستديمة (Persistent calyx) كما في الفصيلة الباذنجانية (Solanaceae) . وقد تكون الكأس أنبوبية ، أو على هيئة مهماز (Spur) . يتجمع فيه الرحيق كما في زهرة العايق (Delphinium) ، وفي بعض الأزهار تكون الكأس ذات شفتين كما في زهرة السلفيا (Salvia) ، وقد تكون على هيئة زغب (Pappus) كما في نبات عباد الشمس ، وفي بعض الأحيان تكون السبلات دقيقة جداً أو منعدمة كما في نباتات الفصيلة الخيمية (Umbelliferae) ، وهناك نباتات يوجد بها محيط آخر خارج الكأس يتركب من أوراق تشبه السبلات ويطلق عليه اسم « فوق الكأس » (Epicalyx) .

التويج (Corolla) : ويتركب من عدد من الأوراق الملونة تعرف بالبتلات (Petals) ، تعمل غالباً على اجتذاب الحشرات التي تقوم بعملية التلقيح . وقد تكون البتلات منفصلة أو ملتحمة ، وتأخذ عدة أشكال عند اتحادها ،

(شكل ٢٦٧)



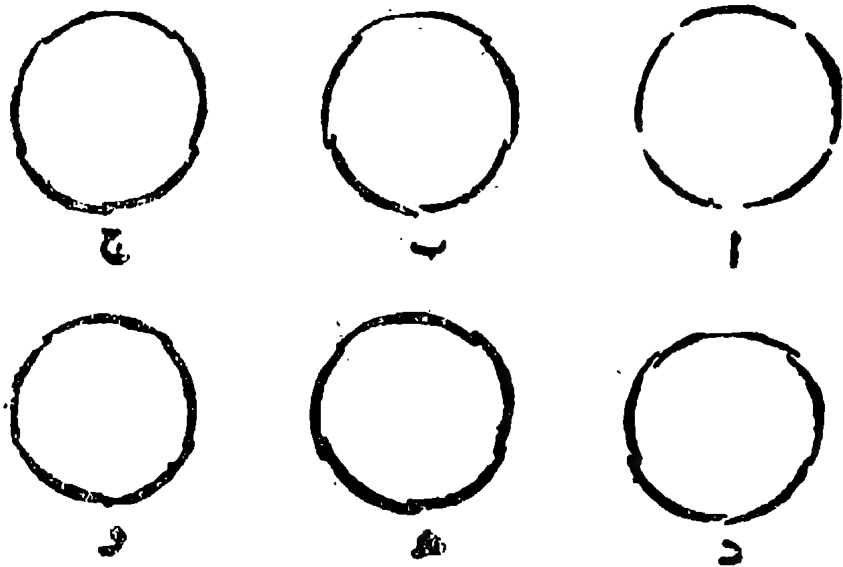
رسم تخطيطي لقطع طولى لزهرة نموذجية يوضح مختلف أجزائها .

منها الأنبوبى كما فى الأزهار التى تتوسط نورة عباد الشمس ، والشعاعى كما فى الأزهار المحيطة فى نفس النورة ، والقمعى كما فى زهرة البتونيا (Petunia) ، والمستدير المفلطح كما فى زهرة الطماطم (Solanum Lycopersicum) ، وفى بعض الأزهار تكون للتويج شفتان كما فى زهرة السلفيا . وفى أزهار الفصيلة الصليبية (Cruciferae) تتخذ البتلات المنفصلة فى ترتيبها شكل صليب .

وتمثل السبلات والبتلات الأعضاء غير الأساسية للزهرة ، وفى بعض النباتات - وخاصة ذوات الفلقة الواحدة - يتشابه الكأس والتويج تشابهاً كبيراً ، وفى هذه الحالة يطلق عليهما معاً اسم الغلاف الزهرى (Perianth) .

التريع الزهرى : يعرف وضع حواف السبلات أو البتلات بالنسبة لبعضها البعض فى البرعم باسم التريع الزهرى (Aestivation) ، فإذا ما انتظمت حواف الأوراق الزهرية بجوار بعضها البعض دون تراكب أو إنشاء فإن هذا الترتيب يوصف بأنه مصراعى (Valvate) كما فى شكل (٢٦٨ : ١) ،

(شكل ٢٦٨)



التوزيع الزهرى : (١) مصراعى ، (ب) تنازلى التراكب (ج) تصاعدى التراكب
(د) ملتف التراكب فى اتجاه عقرب الساعة ، (هـ) ملتف التراكب فى عكس اتجاه عقرب
الساعة ، (و) تراكب ترى فيه ورقتان زهريتان خارجيتان وورقتان داخليتان والخامسة
أحد طرفيها داخلى والآخر خارجى .

أما إذا كانت حواف الأوراق الزهرية يغطى البعض بعضها فتوصف بأنها
متراكبة (Imbricate) ، ومن أنواع التراكب (شكل ٢٦٨) ما يأتى :

(١) تراكب تنازلى (Descending) : وفيه تكون السبلة أو البتلة
الخلفية - وهى المقابلة للمحور - خارجية (شكل ٢٦٨ : ب) .

(٢) تراكب تصاعدى (Ascending) : وفيه تكون السبلة أو البتلة
الخلفية داخلية (شكل ٢٦٨ : ج) .

(٣) تراكب ملتف أو ملتوى (Contorted or Convolute) : وفيه
يكون أحد طرفى السبلة أو البتلة مغطى والطرف الآخر مغطى ، وهذا النظام
يأخذ اتجاهين عكسيين ، أحدهما فى اتجاه عقرب الساعة (شكل ٢٦٨ : د) .
والآخر عكس اتجاه عقرب الساعة (شكل ٢٦٨ : هـ) .

(٤) وبالإضافة إلى ما سبق يوجد نوع من التراكب تكون فيه ورقتان
خارجيتين وورقتان داخليتين والخامسة أحد طرفيها داخلى والآخر خارجى
(شكل ٢٦٨ : و) .

الطلع (Androecium) : يشتمل الطلع على أعضاء الذكبر ، إذ يتم فيه تكوين حبوب اللقاح التي تحتوى على الأنوية الذكورية . ويتكون الطلع من عدد من الأسدية ، وتركب كل سداة من جزء رفيع يعرف بالخيط (Filament) يحمل عند قمته جزءاً منتفخاً يسمى المتك (Anther) .

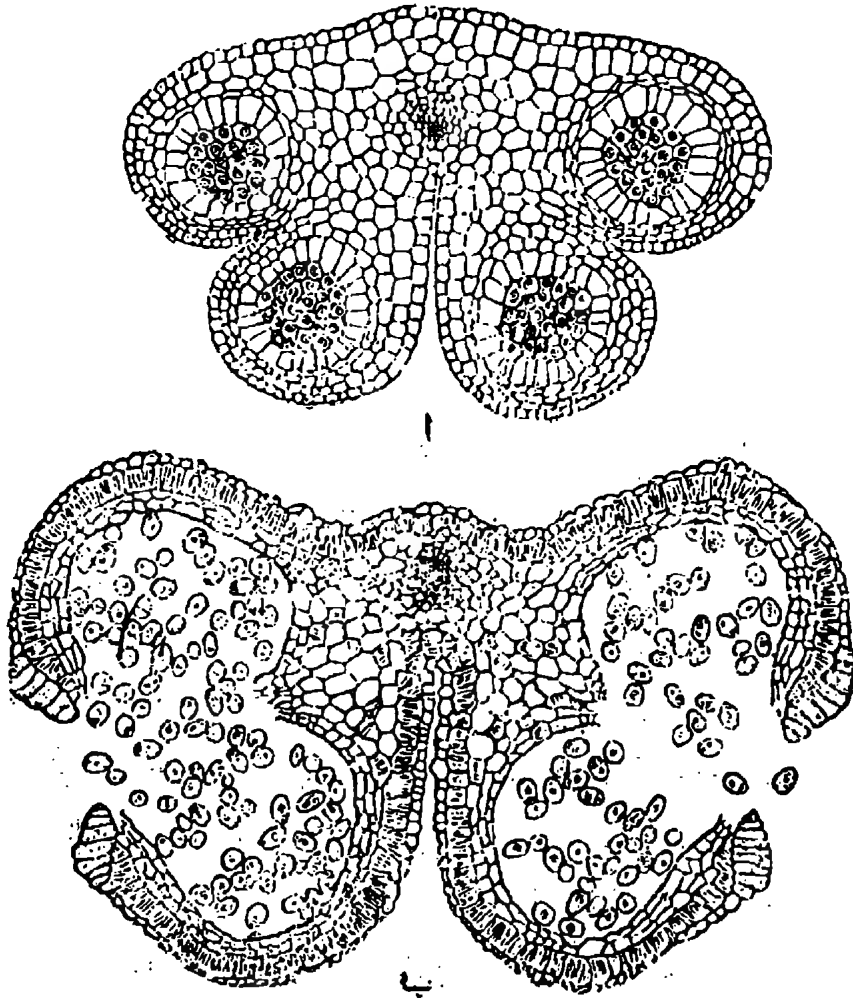
وقد تكون الأسدية منفصلة ، أو ملتحمة بخيوطها ومتوكلها سائبة أو العكس ، وفي حالة الالتحام إما أن تكون الخيوط متحدة في حزمة واحدة كما في زهرة الخبيزة (Malva sp) ، أو متحدة في حزمتين كما في زهرة القول التي تتحد فيها تسع أسدية لتكون أنبوبة مفتوحة من الجانب الخلفى حيث تنفرد السداة العاشرة ، وفي بعض الأزهار تلتحم الأسدية وينتج عن التحامها أكثر من حزمتين كما في زهرة البرتقال (Citrus sinensis) ، وفي معظم أزهار نباتات الفصيلة المركبة تكون المتوك ملتحمة (Syngeneslous) والخيوط سائبة ، وقد تتحد الأسدية بالبتلات فيطلق عليها فوق بتلية (Epipetalous) ، أو تكون منفصلة عنها .

ويتركب المتك من فصين (Lobes) طوليين يربطهما جزء خاص يسمى الرابط (Connective) . وإذا فحصنا قطاعاً مستعرضاً في المتك (شكل ٢٦٩) نلاحظ اشتغال كل فص على تجويفين طوليين ، يطلق على كل منها اسم كيس اللقاح (Pollen sac) ، ويحتوى كل كيس على عدد من حبوب اللقاح (Pollen grains) ، وتمر طولياً في وسط الرابط حزمة وعائية . ويتركب جدار المتك من طبقة البشرة الخارجية، تليها من الداخل طبقة ليفية (Fibrous layer) ذات خلايا عمادية الشكل ، يجدرها تغلظ ليفى ماعدا الجدار الخارجى الذى يبقى رقيقاً ، وينعدم وجود الطبقة الليفية على طول الخط الذى يفصل كيسى اللقاح فى الفص . وبلى هذه الطبقة عدد من الطبقات المتوسطة (Intermediate layers) ، ثم الطبقة الطرازية (Tapetal layer) - التى تحيط بالتجريف المشتمل على حبوب اللقاح - وخلاياها غنية بمحتوياتها وتستعمل كغذاء لحبوب اللقاح أثناء اكتمال نضجها ، وعند تكوين حبوب اللقاح تنقسم الخلايا الوالدة اللقاحية (Pollen mother cells)

مرتين ، أولهما انقسام اختزالي ، وبذلك ينشأ من كل خلية أربع حبوب لقاح ، كل منها أحادية المجموعة الصبغية .

وعندما يكتمل نضج المتك يخنفى الجدار الذى يفصل ما بين كيسى اللقاح ، ومن ثم يندمج التجويفان ، ويصبح كل فص مشتملا على تجويف واحد . وتعتمد آلية انفتاح المتك على اختلاف التغلظ فى جدر خلايا الطبقة الليفية . كما تعتمد كذلك على انعدام هذه الطبقة على طول الخط الواقع بين كيسى اللقاح فى كل فص . فعندما يصبح الجو جافا تفقد طبقة البشرة

(شكل ٢٦٩)



تركيب المتك : (أ) قطاع مستعرض لى متك حديث . (ب) قطاع مستعرض لى متك
الشيخوخة

الماء وتجف ، ثم تتبعها الطبقة التى تليها - وهى الطبقة الليفيه - التى تنكمش نتيجة لفقدائها الماء ، ويتجلى هذا الانكماش فى جدرها الخارجية الرقيقة ، وينشأ عن كل ذلك إنشقاق المتك على طول الخط الواقع بين كيسى اللقاح فى كل فص على الجانبين ، وهو يعتبر منطقة الضعف إذ يتركب من خلايا رقيقة الجدر فقط ويتبع ذلك التواء جدر الفص إلى الخارج بقوة تشبه قوة انكماش اللولب . وعند انفتاح المتك تتحرر حبوب اللقاح ، وقد يقع خط التفتح مواجهاً للمناع - أى للداخل - فيسمى التفتح فى تلك الحالة داخلياً (Intorse) أو للخارج ويسمى التفتح خارجياً (Extorse) .

ولكل حبة لقاح جداران ، أحدهما خارجى (Exine) سميك والآخر داخلى (Intine) رقيق ، ويوجد بالجدار الخارجى عدد من الأجزاء الرقيقة تعرف بثقوب الإنبات (Germ pores) ، وتنقسم النواة داخل حبة اللقاح إلى نواتين إحداهما كبيرة ويطلق عليها اسم النواة التناسلية (Generative nucleus) والأخرى صغيرة وتسمى النواة الأنبوبية (Tube nucleus) كما فى (شكل ٢٨٢) ، وتكون حبة اللقاح غالباً كرية الشكل ، وفى بعض الأحيان تكون بيضية أو مضلعة ، وبعضها ذات سطوح خارجية مزركشة تتميز بأشكال مختلفة تتخذ أساساً لتقسيم بعض النباتات .

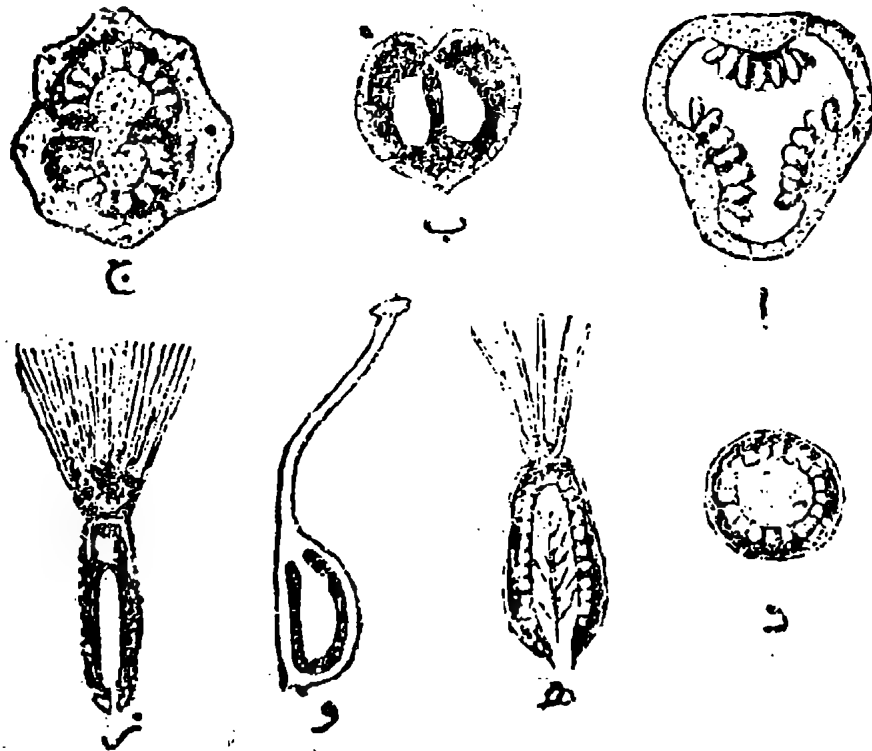
المناع (Gynoeccium) : يمثل المناع عضو التأنيث إذ تتكون بداخله الأنثوية الأنثوية ، ويتركب من عدد من الأوراق المتحورة ، وتعرف الواحدة منها بالكربلة ، التفت حافتها والتحمتا لتكوين تجويف فى جزئها السفلى يحتوى على البويضات ، ويعرف بالمبيض (Ovary) ، أما الجزء العلوى فيكون مصمتاً ومستطيلاً ويسمى القلم (Style) . وينتهى عادة بجزء منتفخ يتخذ أشكالاً متعددة ، منها المفلطح والكروى والريشى ، ويطلق عليه اسم الميسم (Stigma) ، وهو الجزء المعد لاستقبال حبوب اللقاح ، وفى بعض الأزهار ينعدم وجود القلم فيكون الميسم متصلًا بالمبيض اتصالاً مباشراً ، وتنشأ البويضات على نتوءات خاصة تبرز من السطح الداخلى للمبيض ، يطلق على كل واحد منها اسم المشيمة (Placenta) .

ويختلف المتاع من حيث التركيب ، فقد يتركب من كربة واحدة كما في نبات العايق (*Delphinium sp*) ، أو من عدة كرايل منفصلة ويقال له حينئذ سائب الكرايل (*Apocarpous*) كما في نبات الشليك (*Fragaria sp*) أو يتركب من عدة كرايل متحدة ويعرف بمتحد الكرايل (*Syncarpous*) وبعد المتاع في الحالتين الأولى والثانية متاعاً بسيطاً (*Simple pistil*) ، وفي الحالة الثالثة متاعاً مركباً (*Compound pistil*) . وعندما تتحد الكرايل إما أن يكون الاتحاد مقصوراً على المبايض فقط . وبذلك تظهر الأقلام والمياسم منفصلة أو يشمل الالتحام المبايض والأقلام دون المياسم ، ويندر أن يكون الالتحام شاملاً لجميع الأجزاء - حيث لا تتميز المياسم - كما في زهرة الربيع (*Primula sp*) ، وتختلف درجة التحام المبايض في الأزهار المختلفة ، ففي بعض الأزهار تلتصق الكرايل بحوافها المتجاورة خارجياً دون أن تلتقى في المركز ، وفي هذه الحالة يكون المبيض وحيد الغرفة (*Unilocular*) وإن تعددت كرايله ، وتنشأ البذور في مواضع اتصال الحواف . وفي أزهار أخرى تنطوي حواف الكرايل إلى انداخل وتتقابل عند المركز وتلتحم مع بعضها البعض ، وبذلك ينقسم المبيض إلى عدة غرف ويقال له عديد الغرف (*Plurilocular*) ، ويتم هذا الانقسام بواسطة الحواجز التي نشأت من أجزاء الكرايل المتحدة ، وفي هذه الحالة يتساوى عدد الكرايل مع الغرف ، وفي بعض الأحيان لا ترجع نشأة الحواجز إلى الأجزاء الملتحمة من جدار الكرايل بل إلى نمو أجزاء جديدة من جدار المبيض إلى الداخل كما في أزهار الفصيلة الصليبية (*Cruciferae*) ، وتوصف الحواجز في هذه الحالة بأنها كاذبة (*False*) .

الوضع المشيمي (*Placentation*) : تعرف طريقة توزيع المشيمات في المبيض بالوضع المشيمي ، وغالباً ما يكون عدد المشيمات مساوياً لعدد الكرايل في المتاع ، ويوصف الوضع المشيمي بأنه جداري (*Parietal*) - (شكل ٢٧٠ : أ.ب) عندما تكون البويضات مرتبة في صفوف على جدار

المبيض . وعندما تظهر البويضات مرتبة في صفوف على المحور الناشئ من تلاقى حواف الكرابل يوصف الوضع المشيمي بأنه محوري (Axile) كما في (شكل ٢٧٠ : ج) . وهناك نوع آخر يطلق عليه اسم الوضع المشيمي المركزي (Free central) - (شكل ٢٧٠ : د ، هـ) - وفيه تظهر البويضات على مشيمة تنشأ على هيئة عامود قصير يخرج من قاعدة المبيض ولا يتصل بقمته ولا بجداره ، ويكون المبيض دائماً وحيد المسكن كما في نبات زهرة الربيع . وعندما يتكون المبيض من غرفة واحدة أو اثنتين - أو نادراً أكثر من ذلك - وتحتوي كل غرفة على بويضة واحدة تخرج من قمة المبيض يعرف الوضع المشيمي بالقمي (Apical) كما في (شكل ٢٧٠ : و) .

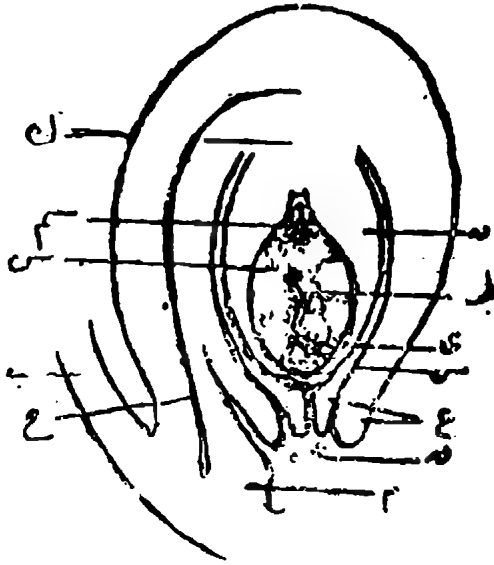
(شكل ٢٧٠)



أوضاع مشيمية مختلفة (١ - د) أوضاع مستندة في مبيض بين الأوضاع الشبيهة الآتية على الترتيب (١) أجداري ومبيض عديد الكرابل ، (ب) أجداري في مبيض وحيد الكرابل ، (ج) المحوري ، (د) المركزي المسائب ، (هـ - و) أوضاع طولية في مبيض ثنائي الوضع المشيمي الآتي (١) المركزي المسائب ، (و) القمي ، (ز) القاعدي .

أما إذا خرجت البويضة من القاعدة فيطلق عليه اسم الوضع المشيمي القاعدي (Basal placentation) شكل (٢٧٠ : ز) . ويتراوح عدد البويضات في المبيض بين واحدة كما في الفصيلة النجيلية (Gramineae) ، إلى بضع مئات كما في نبات التبغ (Nicotiana tabacum) .

(شكل ٢٧١)



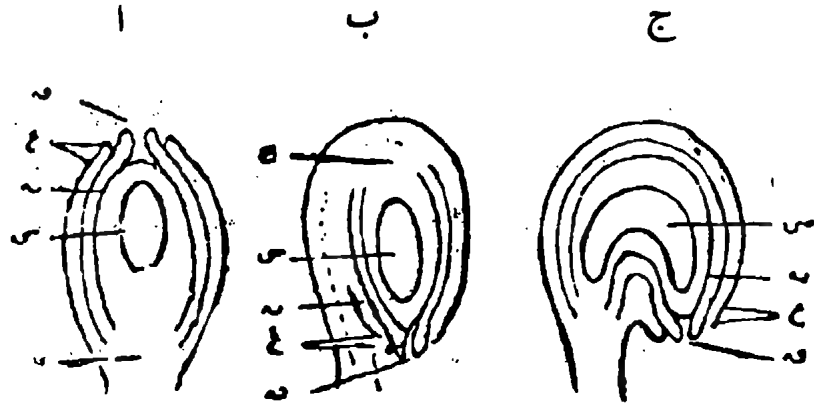
رسم مخطوطي انطاع في بويضة... كفة قبل الإخصاب يبين من أعلى إلى أسفل: (ك) الكلازا (ن) النوسيلة، (سم) الغلايا المشيمية، (س) الكيس الجنيني (ط) الذواتان المبطنتان، (ي) البويضة، (د) خلية مساعدة، (ع) الغلافان البويضات، (ح) الحبل السري، (ز) النقرة (م) المشيمة.

وتتصل البويضة بالمشيمة بواسطة الحبل السري (Funicle) ، وتتركب من الكيس الجنيني (Embryo sac) في المركز ، يحيط به نسيج يسمى النوسيلة (Nucellus) - شكل ٢٧١ - ويغطي هذا النسيج من الخارج بغلافين بويضيين (Integuments) . أحدهما خارجي والآخر داخلي. وينفذ خلالها ثقب يصل ما بين سطح البويضة الخارجي وسطح النوسيلة ويعرف بالنقير (Micropyle) . وعند قاعدة البويضة - حيث يتحد الغلافان مع النوسيلة - توجد الكلازا (Chalaza) .

أشكال البويضة : تأخذ البويضة عدة أشكال ، تختلف أساسياً في شكل الكيس الجنيني وموضع النقير ، ففي البويضة المستقيمة (Orthotropous) - شكل (٢٧٢ : أ) - يقع الحبل السري والكلازا والنقير على خط مستقيم واحد ، ويكون النقير أبعد أجزاء البويضة عن المشيمة . وفي البويضة المنعكسة (Anatropous) - شكل (٢٧٢ : ب) - وهي أكثر أنواع البويضات

شيوعا يتحد الغلاف الخارجى جزئياً مع الحبل السرى ، ويقع النقيير على جانب الحبل السرى مواجهاً للمشيمة ، عل حين تكون الكلازا أبعد أجزاء البويضة عن المشيمة ويكون الكيس الجنينى مستقيماً . أما فى البويضة الكلوية (Campylotropous) - شكل (٢٧٢ : ج) - فيكون الكيس الجنينى منحنيًا ، ويقع النقيير على جانب الحبل السرى .

(شكل ٢٧٢)



أواع البويضات فى نباتات كاسيات البذور : (١) مستقيمة ، (ب) منبعدة ، (ج) كلوية ، (د) الكيس الجنينى ، (هـ) الفلقان البويضيان ، (و) القبر ، (ز) الكلازا ، (ح) البويضة .

ترتيب المحيطات الزهرية على التخت : يكون التخت فى معظم النباتات محدياً بعض الشيء ، ويحمل المبيض والأسدية والغلاف الزهرى ، وتقع المحيطات الزهرية الثلاثة الخارجية أسفل المبيض . وفى هذه الحالة توصف الزهرة بأنها تحت متاعية (Hypogynous) - شكل (٢٧٣ : أ) - ويكون المبيض علوياً ، وعندما يكون التخت مفلطحاً والأجزاء الزهرية مرتبة عليه فى مستوى واحد تقريباً ، أو مقعراً يحتوى المبيض بداخله دون أن يتحد معه جانبياً ، توصف الزهرة بأنها محيطة المتاعية (Perigynous) كما فى (شكل ٢٧٣ : ب) ، وعندما يكون المبيض محاطاً إحاطة شاملة بالتخت ومتحداً معه إتحاداً كلياً ، بحيث يقع المحيطات الزهرية فى مستوى أعلى من المبيض ، توصف الزهرة بأنها فوق متاعية (Epigynous) - (شكل ٢٧٣ : ج) - ويكون المبيض سفلياً .

(شكل ٢٧٣)



الطرز المختلفة للأزهار - كما تبدو في قطاعات طويلة - بحسب وضع المحيطات الزهرية على التخت : (أ) زهرة تحت متاعية . (ب) زهرة محيطة المتاعية . (ج) زهرة فوق متاعية . ويرمز المبيض بجوف (م) والتخت بالحرف (ت) .

الرموز الزهرية : يرمز لأسماء المحيطات الزهرية ولبعض الصفات التي تتميز بها الأزهار برموز تستعمل عند كتابة القانون الزهرى ، وتتلخص الرموز الزهرية فيما يلي :

ك	الكلس	⊕	زهرة منتظمة
ت	التويج	١٠	زهرة وحيدة التناظر
ط	الطلع	♀	زهرة خنثى
م	الستار	♂	زهرة ذكورية
غل	الغلاف الزهرى	♀	زهرة أنثوية

ولا يتميز في الغلاف الزهرى كأس وتويج كما في نباتات ذوات الفلقة الواحدة .

القانون الزهرى (Floral formula) : باستعمال الرموز السابقة يمكن التعبير بشيء من الإيجاز عن الصفات التي تتميز بها الزهرة ، ويطلق على هذه المجموعة من الرموز اسم القانون الزهرى - ويبدأ هذا القانون بالرمز الدال

على تماثل الزهرة ، ثم الرمز الدال على نوع الزهرة إذا كانت ذكرية أو أنثوية أو خنثوية ، ثم تلى ذلك الرموز الدالة على المحيطات . ويوضع على يسار كل رمز من هذه الرموز العدد الذى يدل على الأجزاء فى كل محيط . وإذا كانت الأوراق الزهرية عديدة وغير محدودة يرمز لها بالرمز ∞ . وإذا كانت متحدة يوضع العدد الدال عليها بين قوسين . وإذا كانت الزهرة تحت متاعية يوضع خط أسفل الرمز الدال على المتاع ، وإذا كانت فوق متاعية يوضع خط أعلاه ، أما إذا كانت محيطية المتاعية فلا يوضع خط على الإطلاق .

النورة :

تنشأ الأزهار إما وحيدة فى نهاية الساق كما فى الحشخاش (Papaver) وبذلك تحدد من نمو الساق : أو فى مجموعة تعرف بالنورة (Inflorescence) ويطلق على الجزء من الساق الذى يحمل الأزهار اسم المحور أو الشمراخ (Peduncle) ، وتخرج الزهرة إما من إبط ورقة خضراء عادية . أو من إبط ورقة أصغر حجماً من الورقة العادية ، أو من إبط ورقة حرشفية ، وتعرف الورقة فى جميع هذه الحالات بالقنابة ، وفى بعض الأحيان تظهر الأزهار بدون قنابات .

وتتباين النورات تبعاً لنوع التفرع وتوزيع الأزهار وطبيعة المحور وعوامل أخرى ، وتتميز النورة إلى نوعين إذا اتخذنا طريقة التفرع أساساً للتقسيم .

(١) النورة غير المحدودة (Racemose) : فيها يكون التفرع صادق المحور .

(٢) النورة المحدودة (Cymose) : فيها يكون التفرع كاذب المحور .

النورة غير المحدودة :

فى هذا النوع يستمر المحور فى نموه . ويظهر عند فته براعم زهرية حديثة تتكشف عن أزهار فيما بعد ، وباستمرار النمو تتكون براعم زهرية أخرى ، وهكذا نجد على امتداد المحور تدرجاً فى عمر الأزهار ودرجة تفتحها ، إذ تقع الأزهار الحديثة - التى لم تفتح بعد - عند القمة والأزهار المتفتحة

المتقدمة في السن عند القاعدة ، بمعنى أن التفتح يبدأ من أسفل إلى أعلى ، وفي حالة تفلطح المحور الزهرى يبدأ التفتح من الخارج إلى الداخل . وتتميز النورة غير المحدودة إلى عدة أنواع (شكل ٢٧٤) منها :

(أ) النورة العنقودية البسيطة (Simple raceme) : يستطيل المحور في هذا النورة ويحمل الأزهار على أعناق لا تختلف كثيراً في أطوالها ، مثال ذلك نورة نبات حنك السبع (*Antirrhinum sp.*) وهناك نورة تعرف بالعنقودية المركبة (Panicle) ، وفيها يحمل المحور الأصلي نورات عنقودية بسيطة بدلا من الأزهار كما في نبات العنب .

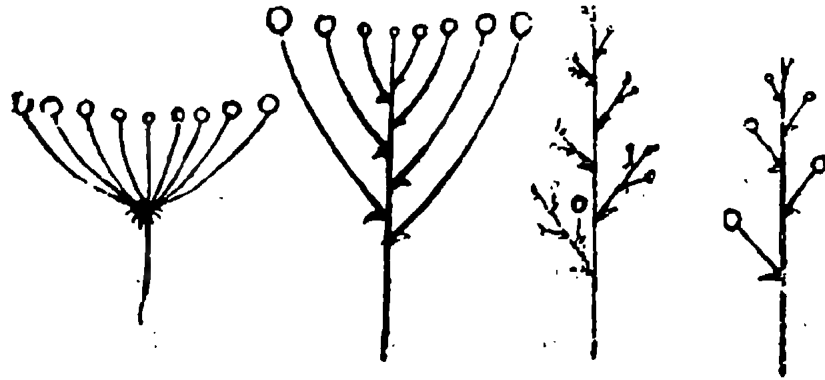
(ب) النورة المشطية (Corymb) : هذا النوع يشبه لحد ما النورة العنقودية إلا أن أعناق الأزهار السفلى تستطيل حتى تنتظم الأزهار جميعها في مستوى واحد تقريباً كما في نورة نبات الإبرس (*Iberis*) .

(ج) النورة الخيمية (Umbel) : في هذه النورة يقصر الشمراخ إلى درجة اختفاء السلاميات التي تفصل الأزهار ، وبذلك تبدو جميع الأزهار وكأنها خرجت من موضع واحد ، والأزهار هنا معنقة وتقع في مستوى واحد تقريباً كما في النورة المشطية . أما في النورة الخيمية المركبة (Compound umbel) فيتفرع المحور الأصلي للنورة إلى عدة فروع تخرج من نقطة واحدة ، وينتهي كل منها بعدة أزهار مرتبة بنفس الطريقة التي ترتب بها الأزهار في النورة الخيمية البسيطة ، والنورة الخيمية المركبة هي الأكثر شيوعاً ، وتعتبر من أهم الصفات التي تميز الفصيلة الخيمية (Umbelliferae) .

(د) سنبله (Spike) : وهي تشبه إلى حد كبير النورة العنقودية إلا أن الأزهار هنا جالسة وليست معنقة ، ومن أمثلتها نورة نبات لسان الحمل (*Plantago major*) وتوجد أيضاً نورة سنبلية مركبة (Compound spike) تخص بها نباتات الفصيلة النجيلية مثل القمح (*Triticum sp.*) ، وتركب من محاور مستطيل يحمل بدلا من الأزهار عدداً من السنابل البسيطة ، يطلق على

الواحدة منها سنيلة (Spikelet) ، وهي إما أن تكون جالسة أو ذات عناق قصير ، وتتركب من عدد من الأزهار يختلف باختلاف نوع النبات .

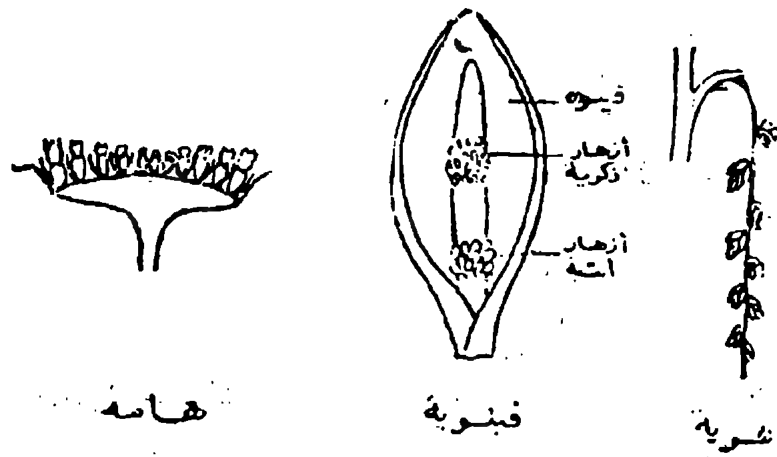
(شكل ٢٧٤)



عناقود مركب عناقود خيمة بسيطة سنبلة



سنبلة سنبلة مركبة خيمة مركبة



سنبلة عناقود خيمة

رسوم تخطيطية لنباتات مختلفة من النورة غير المحددة.

(هـ) نورة هرية (Catkin) : هذه النورة تتركب من عدد من الأزهار الجالسة كما في السنبلة ، ولكنها وحيدة الجنس ، وتتدلى النورة من الساق ، وغالباً تكون القنابات حرشفية ، مثال ذلك نورة نبات الصفصاف (Salix sp.).

(و) نورة قنبوية أو إغريضية (Spadix) : وهي تشبه السنبلة إلا أن محور النورة شحمي غليظ والأزهار وحيدة الجنس ، وتغلفها قنابة كبيرة تعرف بالقنبوة (Spathe) ، وتكون خضراء كما في نخيل البلح أو ماونة كما في القلقاس.

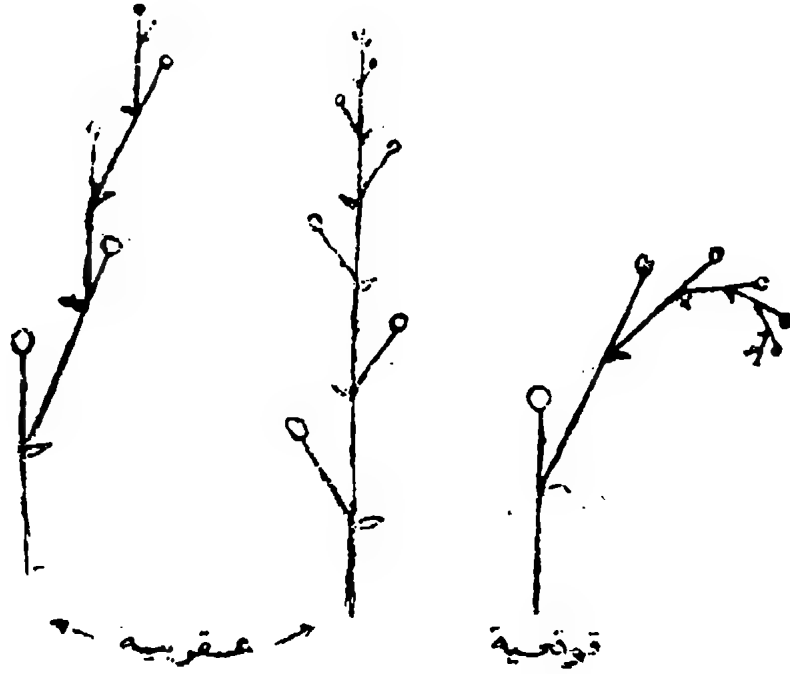
(ز) الهامة (Capitulum) : في هذا النوع يأخذ المحور أشكالاً متعددة ، منها الكروي والمقعر والمحدب والمفلطح ، وتستوى الأزهار الجالسة فوق المحور حيث تقع الأزهار الصغيرة في المركز ، وتدرج في الكبر كلما اتجهنا إلى الخارج ، وتحيط بالأزهار مجموعة من القنابات المتكاثفة تعرف بالقلافة (Involucre) ، وتبدو النورة في مجموعها كأنها زهرة واحدة كما في نباتات الفصيلة المركبة (Compositae) .

النورة المحدودة :

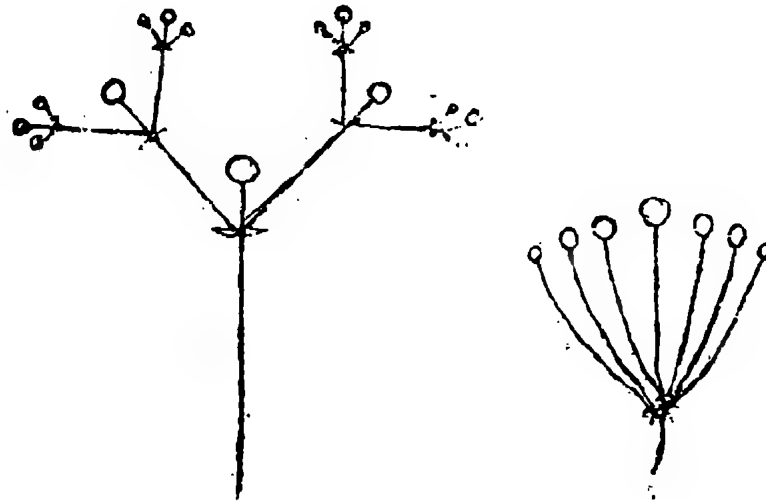
في هذا النوع تنشأ الأزهار من البراعم الطرفية ، وبذلك يقف نمو الساق الأصلية ، ثم يخرج منها فرع أو فروع جانبية تأخذ في النمو لفترة ثم تنتهي بأزهار فيقف نموها ، وقد تتكرر هذه الظاهرة عدة مرات فتعرف النورة بالمركبة ، وعلى هذا النحو تبدأ الأزهار العليا - وهي الأكبر سناً - في التفتح أولاً ثم تليها الأزهار السفلى وهي الأحدث تكويناً ، بمعنى أن الانفتاح - على التقيض منه في النورة غير المحدودة - يبدأ من أعلى إلى أسفل . وتتميز النورة المحدودة إلى ثلاثة أنواع (شكل ٢٧٥) :

(أ) النورة وحيدة الشعبة (Monochasium) : في النورة البسيطة وحيدة الشعبة لا يتجاوز عدد الأزهار الإثنتين ، إذ ينتهي المحور الأصلي بزهرة ، ويخرج منه فرع جانبي واحد ينتهي أيضاً بزهرة . أما في النورة المركبة وحيدة الشعبة فتتعدى الأزهار الإثنتين ، وتتخذ وضعين ، أحدهما تظهر فيه الأزهار

(شكل ٢٧٥)



نورات وحيدة الشعبة



نورة شتائية الشعب

نورة عديدة الشعب

رسم تخيلي عن أنواع النورات المحددة

جميعها في ناحية واحدة من المحور والقنابات في الناحية الأخرى ، ومن م يبدو المحور في شكل المنحني ، وتسمى النورة قوقعية (Helicoid) ، كما في الفصيلة البوراجينية (Boraginaceae) . والوضع الآخر تظهر فيه الأزهار المتعاقبة في جهتين متقابلتين ، ويبدو المحور مستقيماً أو متعرجاً ، وتسمى النورة عقريية (Scorpioid) ، كنورة نبات الكتان (Linum) .

(ب) النورة ثنائية الشعب (Dichasium) : النورة البسيطة ثنائية الشعب تتركب من ثلاث أزهار فقط ، وينتهي المحور الأصلي بزهرة تحد نموه ، ثم يخرج من إبط قنابتين متقابلتين على المحور فرعان جانبيين ينتهيان بزهرتين ، أحدث في تكوينهما من الزهرة الأولى . أما في النورة المركبة فتستبدل الزهرتان الجانبيتان بنورتين بسيطتين ثنائيتي الشعب ، وقد يتكرر هذا التنسيق عدة مرات كما في نبات الجيبسوفيل (Gypsophila) .

(ج) النورة عديدة الشعب (Polychasium) : يتميز هذا النوع عن النورات ثنائية الشعب بوجود أكثر من زهرتين تحيطان بالزهرة الوسطى . والنورة عديدة الشعب والحيمية — وإن كانتا متقاربتين في مظهرهما العام — إلا أنه في الأولى تنوسط الزهرة الكبيرة سناً باقي الأزهار ، بينما في الثانية يحدث العكس . أي أن الزهرة المركزية هي الأصغر سناً ثم تندرج الأزهار في الكبر كلما اتجهنا إلى الخارج .

وهناك نوع من النورات يختلط فيه نوعان أو أكثر من أنواع سابقة الذكر ، ويتضح ذلك في بعض النورات التي تنتظم فيها وحدات من النورات الفرعية المحدودة في تعاقب قى ، أي أن أصغر هذه النورات الفرعية المحدودة تكون أقربها إلى القمة وتندرج في الكبر كلما اتجهنا ناحية القاعدة . ومن الأمثلة أيضاً النورة ثنائية الشعب التي تنتهي فيها الأفرع الجانبية بنورات وحيدة الشعبة .

التلقيح والإخصاب

التلقيح :

عندما تنضج حبوب اللقاح تتحلل خلايا الجدار فيما بين كيسى اللقاح ، ويتصل تجويفا الكيسين في كل فص . ويفتحان إلى الخارج بفتحة مشتركة ، تخرج منها حبوب اللقاح ، ويتم هذا الانفتاح بوساطة خلايا خاصة مرتبة في صفين على جانبي المتك ، وتعرف هذه بخطوط الانفتاح (Lines of dehiscence) ، وتعرف عملية انتقال حبوب اللقاح من المتك إلى الميسم بالتلقيح (Pollination) .

وإذا تم التلقيح بانتقال حبوب اللقاح من متك زهرة إلى ميسم نفس الزهرة — أو أى زهرة على نفس النبات — سمي التلقيح ذاتياً (Self - pollination) ، أما إذا انتقلت حبوب اللقاح من متك زهرة إلى ميسم زهرة أخرى على نبات آخر أطلق على هذه العملية اسم التلقيح الخلطي (Cross-pollination) .

والتلقيح الخلطي هو الشائع بين النباتات ، نظراً لتوافر بعض العوامل التى تساعد على حدوثه ، ومن بين هذه العوامل انفصال أعضاء التذكير عن أعضاء التأنيث في أزهار مستقلة وحيدة الجنس (Unisexual) ، وقد توجد الأزهار الذكورية والأنثوية على نبات واحد فيسمى النبات أحادى المسكن (Monoecious) أو على نباتين منفصلين فيسمى ثنائى المسكن (Dioecious) وفي هذه الحالة يكون التلقيح الخلطي مؤكداً .

وكذلك يعتبر نضج أحد نوعى الأعضاء الجنسية قبل الآخر من أهم العوامل التى تساعد على التلقيح الخلطي ، ففي بعض النباتات تنضج الأسدية قبل المتاع ، وبذلك لا يكون الأخير قد وصل إلى مرتبة البلوغ التى تؤهله لاستقبال حبوب اللقاح ، ولا يكون التلقيح مجدياً إلا إذا انتقلت حبوب اللقاح إلى زهرة أخرى ناضجة المتاع ، وتوصف الأزهار في هذه الحالة بأنها مبكرة التذكير (Protandrous) ، وفي نباتات أخرى يحدث العكس ،

أى يصبح الميسم مهيباً لاستقبال حبوب اللقاح قبل نضج الأسدية ، وحينئذ توصف الزهرة بأنها مبكرة الأنوثة (Protogynous) . وهناك عوامل أخرى أقل أهمية ، منها تفتح المتك للخارج ، أو وجود المتوك فى مستوى تحت مستوى المياسم ، أو العكس عندما تتدلى المتوك .

وتنتقل حبوب اللقاح من زهرة إلى أخرى بعدة وسائل ، أهمها الرياح والحشرات ، ونادراً ما يتم انتقال حبوب اللقاح بوساطة الماء ، إذ يقتصر ذلك على قليل من النباتات المائية .

التلقيح الهوائى (Wind-Pollination or Anemophily) : يحدث هذا النوع من التلقيح فى نباتات الصنوبر والبلوط ونباتات الفصيلة النجيلية وغيرها ، ويكثر حدوثه فى النباتات ذوات الأزهار البسيطة وحيدة الجنس التى تنتج كميات كبيرة من حبوب اللقاح ، ومن الشروط الواجب توافرها فى النباتات التى يتم فيها التلقيح الهوائى تعدد الأسدية وكبر حجم المتكوك واحتوائها على كميات كبيرة من حبوب اللقاح ، وتفرع الميسم ليأخذ شكلاً ريشياً (شكل ٢٩٧ : ج) وبذلك يتيسر استقبال أكبر قدر ممكن من حبوب اللقاح كما فى الفصيلة النجيلية . وإن وجود النورة مدلاة طليقة فى حركتها ، وكذلك وجود المتوك معلقة وسهلة الحركة ، مما يساعد كثيراً على سهولة تحرر حبوب اللقاح . وتتميز الأزهار هوائية التلقيح بدقة حجمها واخضرار لونها ، وهى إما أن تكون عارية أو ذوات غلاف زهرى بسيط ، وتفتقر إلى المظهر الجذاب الذى تتميز به النباتات حشرية التلقيح .

التلقيح الحشرى (Insect-pollination) : من بين الصفات التى تتميز الأزهار حشرية التلقيح عن غيرها وجود الرحيق والغلاف الزهرى الكبير نسبياً ذو الألوان الجذابة . والرحيق سائل سكرى تفرزه غدد رحيقية توجد على النخت ، الذى يكون مفلطحاً أو أنبوبياً ، وتوجد الغدد أيضاً عند قواعد البتلات أو الأسدية أو الأجزاء الأخرى من الزهرة .

وتتماز حبوب اللقاح في الأزهار حشرية التلقيح بسطحها اللزج أو الخشن مما يسهل تعلقها بجسم الحشرة ، كما يمتاز الميسم بسطحه اللزج الذى يجعله صالحاً لاستقبال حبوب اللقاح ، وغالبية الحشرات التى تنقل حبوب اللقاح لها خرطوم طويل أو قصير تمتص به الرحيق ، وفي الأزهار ذوات الفتحة الواسعة يسهل على الحشرات ذوات الخرطوم القصير والطويل على السواء امتصاص الرحيق ، بينما في الأزهار التى يأخذ التويج فيها شكل الأنبوبة الطويلة الضيقة يتعذر على الحشرات ذوات الخرطوم القصيرة امتصاص الرحيق . عندما تهبط الحشرة على الغلاف الزهرى تعلق بجسمها حبوب اللقاح الموجودة بالمتوك ، فإذا ما انتقلت إلى زهرة أخرى احتك جسمها بالميسم ، ومن ثم تنتقل حبوب اللقاح من جسم الحشرة إلى الميسم .

آلية التلقيح :

تختلف آلية التلقيح من زهرة إلى أخرى ، ومنذكر على سبيل المثال آلية التلقيح في أزهار أربعة نباتات هي : بسلة الزهور (*Lathyrus odoratus*) والسلفيا (*Salvia sp.*) والبانسيه (*Viola tricolor*) وعباد الشمس (*Helianthus annuus*) .

آلية التلقيح في زهرة بسلة الزهور : يمثل التلقيح في زهرة بسلة الزهور نوع التلقيح الذى يحدث في أزهار الفصيلة الفراشية بصفة عامة . ويتركب التويج في هذه الأزهار من بتلة خافية كبيرة يطلق عليها اسم العلم ووضعها رأسى ، وزوج من البتلات الجانبية تشبه الأجنحة ، وزوج من البتلات الأمامية تتحدان وتأخذان شكل الزورق (شكل ٢٧٦) ، ويتركب الطلع من عشرة أسدية ، تتحد خيوط تسع منها مكونة أنبوبة سدائية مفتوحة طويلاً من الخلف وتظل السداة العاشرة - وهى الخلفية - سائبة ، ويأخذ المبيض شكل القرن ، ويكون له قلم طويل ينتهى بالميسم . ويظهر الرحيق على

(شكل ٢٧٦)



تركيب زهرة سلة الزهور : بين كيف
تتم عملية التلقيح : (أ) قطاع طولى مركزى
فى الزهرة ، (ب) ، منظر خارجى للزهرة ،
(ج) الطلع والناتج ، (د) الناتج .

السطح الداخلى لقواعد الأسدية ،
ثم يتجمع فى تجويف محصور
بينها وبين المبيض ، ويوجد
امتداد عند قاعدة كل جناح
يتعشق فى الشق الموجود فى
بتلة الزورق المجاورة .

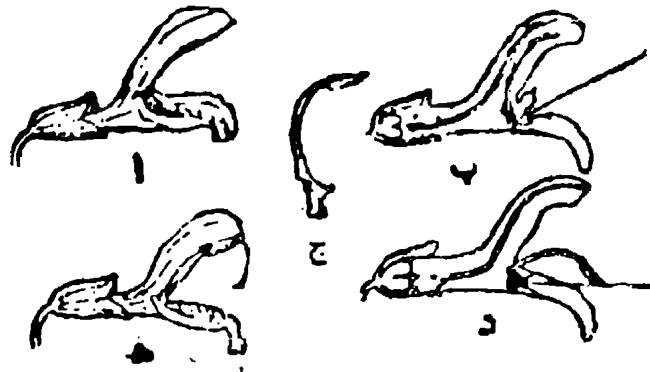
ولهذا التركيب أثره فى
آلية التلقيح ، إذ أنه عندما تهبط
الحشرة على الأجنحة وتدفع
بخرطومها فى الشق الذى تكونه
السداة المنفردة لتمتص الرحيق
تنخفض الأجنحة وينخفض معها
الزورق ، ويترتب على ذلك
بروز الأسدية والميسم ، وتحتك
بالسطح السفلى لجسم الحشرة ،
وعندما تغادر الحشرة الزهرة
تعود الأجزاء الزهرية إلى وضعها
الأصلى ، وتحتجب الأسدية
والميسم داخل الزورق . وإذا
ما زارت الحشرة زهرة أخرى
احتك جسمها بالشعيرات التى
تظهر أسفل الميسم على صورة
فرشاة ، وبذلك تنتقل إليها
حبوب اللقاح .

آلية التلقيح في زهرة السلفيا : تتركب زهرة السلفيا من كأس وتويج لونهما أحمر ، ويتكون الكأس من خمس سبلات ملتحمة والتويج من خمس بتلات ملتحمة على شكل أنبوبة ، والبتلتان الخلفيتان تكونان الشفة العليا والثلاث الأمامية تكون الشفة السفلى (شكل ٢٧٧) التي تهبط عليها الحشرة وتمتد الزهرة في وضع أفقى متعامدة على محور النورة . ولزهرة السلفيا سداتان ولكل سدادة رابط (Connective) طويل يفصل فصى المتك . وأحد فصى المتك خصب والآخر عقيم ، ويكون الرابط مع الخيط رافعة من النوع الأول ، أحد ذراعها طويل والآخر قصير .

وينتهى الذراع الطويل بفص المتك الخصب ، أما الذراع القصير فينتهى بالفص العقيم (شكل ٢٧٧ : ج) ، ويظهر الفصان العقيمان للسداتين في حلق أنبوبة التويج ، ويفرز الرحيق عند قاعدة المبيض .

وعندما تزور الحشرة الزهرة باحثه عن الرحيق ، وتهبط على الشفة

(شكل ٢٧٧)



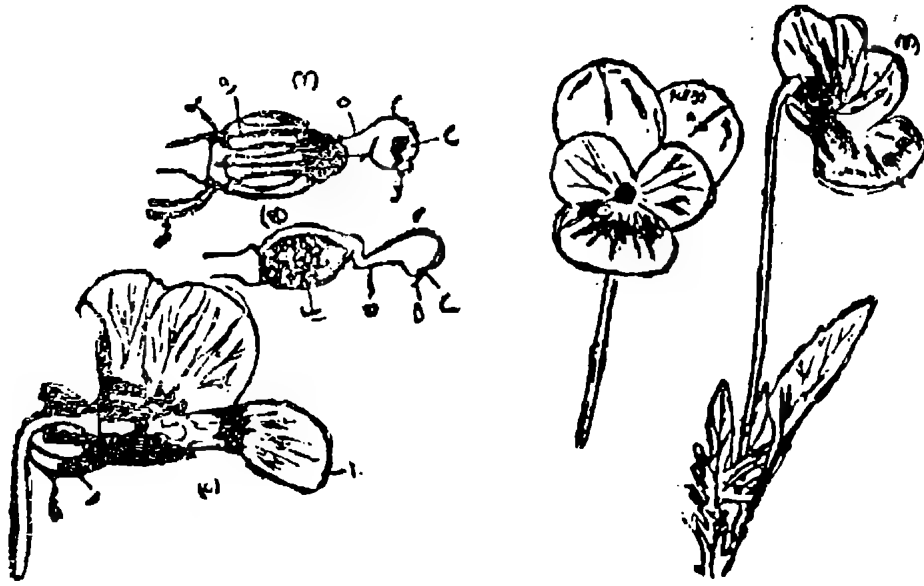
التلقيح المحصر في نبات السلفيا : (أ) منظر خارجى للزهرة ، (ب) قطاع طولى فى الزهرة وبشير القسم إلى موضع خرطوم الحشرة ، (ج) منظر لسدادة مكبرة نسبيا بين أركبيها وكيفية اتصالها بالخيط القصير ، (د) قطاع فى نفس الزهرة ب بين كيف تنحسب الحشرة فى تحريك المتك إلى أسفل حتى يلامس ظهرها وينفض عليه حبوب اللقاح ، (هـ) زهرة أكر سينا استئصال فيها اللسان وتدخل البسم فى مدخل التويج (ف من كريبز) .

السفلى ، ترسل خرطومها داخل أنبوبة التويج ، وبذلك تدفع الفصين العقيمين (شكل ٢٧٧ : ب) فيتحرك تبعاً لذلك الفصان الحصييان إلى أسفل (حسب الرافعة - كما فى شكل ٢٧٧ : د) - وينفضان حبوب اللقاح على ظهر الحشرة ، وهذا ما يحدث عامة فى المرحلة الأولى التى يتم فيها نضج المتك قبل المتاع . أما فى المرحلة الثانية التى يتم فيها نضج المتاع فيبرز فصا الميسم (شكل ٢٧٧ : هـ) وينتهيان لاستقبال حبوب اللقاح ، فعندما تزور الحشرة الزهرة يثبت فصا الميسم بظهرها ، وبذلك تنتقل حبوب اللقاح من ظهر الحشرة إلى الميسم وتم عملية التلقيح .

آلية التلقيح فى زهرة البانسيه : تتركب زهرة البانسيه من كأس مكون من خمس سبلات منفصلة لها زوائد تتبدل أسفل التخت ، ويتركب التويج من خمس بتلات منفصلة غير متساوية ، وتتميز البتلة الأمامية باستطالتها أسفل التخت على هيئة مهماز (Spur) أنبوبي الشكل (شكل ٢٧٨ : أ) ، ويتكون الطالع من خمس أسدية لها خيوط قصيرة ومتوك تنجمع حول المبيض والقلم وتغلفهما باحكام (شكل ٢٧٨ : ب) . ويستطيل الموصلان فى المتكين الأماميين ليكونا زائدين داخل المهماز (شكل ٢٧٨ : ج) ، وبهاتين الزائدين غدد رحيقية تفرز الرحيق الذى يتجمع فى المهماز ، ويتركب المتاع من ثلاث كرابل ملتحمة ، ويخرج من المبيض قلم ينتهى بميسم كروى يوجد على سطحه الأمامى جزء غائر (شكل ٢٧٨ : د) يستقبل حبوب اللقاح وتغطية زائدة تتعلق بطرفه السفلى .

وعندما تزور الحشرة زهرة البانسيه تهبط على البتلة الأمامية وتدفع بخرطومها فى المهماز لتمتص منه الرحيق ، وعند سحبته تتعلق به بعض حبوب اللقاح ، وتؤدي هذه الحركة إلى غلق الجزء المستقبل من الميسم بالزائدة التى تتعلق به ، وبذلك يتعذر التلقيح الذاتي . وإذا ما انتقلت هذه الحشرة إلى زهرة أخرى ودفعت بخرطومها لامتصاص الرحيق تتحرك الزائدة إلى الخلف ، وبذلك يتعرض الجزء المستقبل من الميسم لحبوب اللقاح العالقة بالخرطوم ، ومن ثم تم عملية التلقيح .

(شكل ٢٧٨)

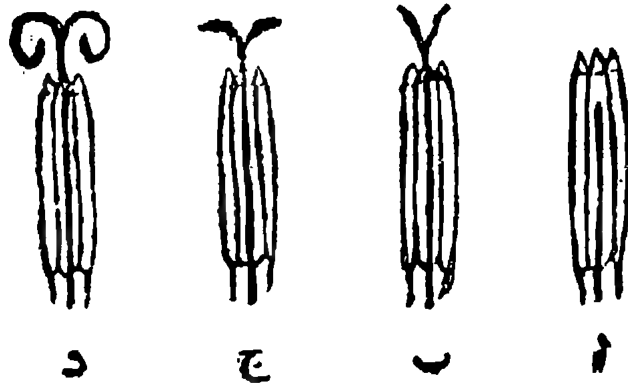


تركيب زهرة البانسيه بين كيف تتم عملية التلقيح : (١ ، ٢) - منظران لخارجيان الزهرة ،
 (٣) الزهرة بعد نزع السكاس والتويج ، (٤) قطاع طولي في المبيض ، (٥) قطاع طولي في
 الزهرة ؛ (١) البتلة الأمامية ، (ب) المبيض ؛ (ح) الجزء الخلفي من المبيض الذي يستقبل
 حبوب اللقاح ؛ (ز) زائدة ناعمة من استطالة الموصل في الجانب الأمامي ، (ط) الطام ، (ع)
 موهاز ، (ق) قلم ، (ل) زائدة تنبثق من الطرف السفلي للمبيض

آلية التلقيح في زهرة عباد الشمس : تتركب النورة في نبات عباد
 الشمس من محور مفلطح تستوي عليه الزهيرات الجالسة ، وتتوسط النورة
 مجموعة من الزهيرات الأنبوبية أو القرصية (Disc florets) المنتظمة تحيط
 بها زهيرات شعاعية (Ray florets) وحيدة التناظر (شكل ٢٧٩) ،
 والزهيرات الأنبوبية خنثى - وهى التى يحدث فيها التلقيح - أما الزهيرات
 الشعاعية فعقيمة . وتتركب الزهرة الأنبوبية من كأس ضامرة تمثل نتوءين
 صغيرين بينما يتكون التويج من خمس بتلات ملتحمة وهو أنبوبي الشكل ،
 ويتركب الطلع من خمس أسدية تتحد متوكها لتكون أنبوبة بينما تظل الخيوط
 سائبة . والمبيض سفلى يخرج عند قمته قلم ينتهى بمسمين .

ويتم نضج المتوك قبل المياسم ، وعندما تفتح المتوك إلى الداخل تنحدر
 حبوب اللقاح وتتجمع في الأنبوبة المحصورة بين المتوك ، فإذا ما استطال القلم

(شكل ٢٧٩)



رسم تخطيطي يبين خطوات نمو القلم والميسمين (١ - د) داخل الأنبوبة المتكيفة من الزهرة الأنبوبية أثناء عباد الشمس أثناء التلقيح

دفع أمامه حبوب اللقاح فتبرز من الأنبوبة المتكيفة ، وحينئذ يسهل تعلقها بجسم الحشرة عندما تهبط على النورة ، والسطحان الخارجيان للميسمين تغطيهما شعيرات تتعلق بها حبوب اللقاح عند بروز القلم من الأنبوبة المتكيفة ، أما السطحان الداخليان فهما المعدان لاستقبال حبوب اللقاح ، ويكونان منطبقين عند خروج الميسمين من الأنبوبة المتكيفة (شكل ٢٧٩) ، وعند اكتمال نضج الميسمين ينفرجان ، وبذلك يتباعد السطحان الداخليان لاستقبال حبوب اللقاح .

وإذا هبطت حشرة على نورة عباد الشمس في المرحلة الأولى - التي يكون فيها الميسمان منطبقين - علق حبوب اللقاح بجسم الحشرة ، فإذا ما انتقلت إلى نورة أخرى - وكان الميسمان منفرجين - انتقلت حبوب اللقاح إلى السطحين المستقبلين ، وبذلك تم عملية التلقيح .

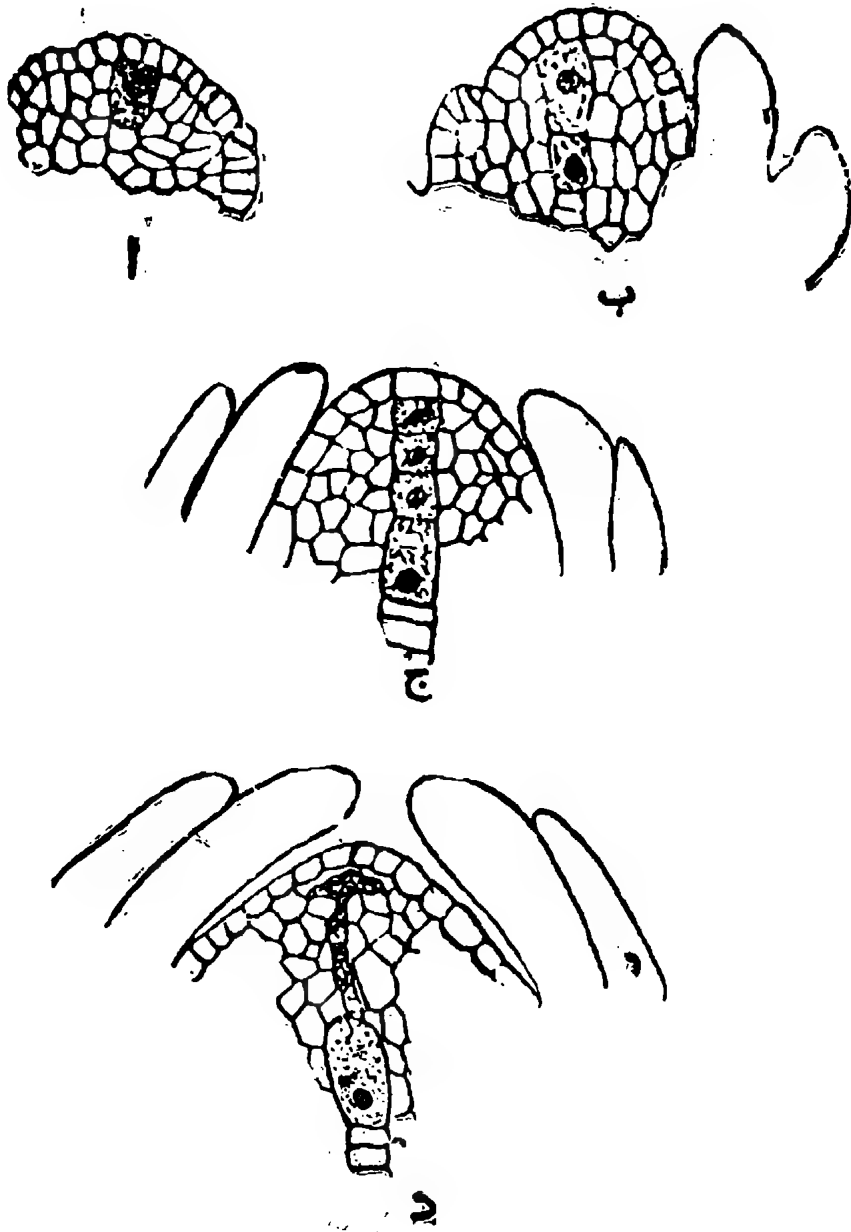
أما إذا كانت الظروف غير مهيأة للتلقيح الحشري لجأت الأزهار إلى التلقيح الذاتي ، وذلك بأن يلتوى الميسمان وعندئذ يلامس السطحان الداخليان الشعيرات التي تقع على السطح الخارجى للميسم ، ومن ثم تنتقل حبوب اللقاح إلى السطحين المستقبلين ، فيتم التلقيح الذاتي .

تكوين الكيس الجنيني :

عند بدء تكوين البويضة تظهر النيوسيلة على هيئة نتوء من المشيمة ، يتكون من مجموعة من الخلايا المتشابهة ، وعند قاعدة هذا النتوء تظهر حلقتان نسيجيتان تنموان لتكونا الغلافين البويضيين . وتتميز خلية تحت البشرة عند قمة النيوسيلة بكبر حجمها وغزارة محتوياتها ، ويطلق عليها الخلية الوالدة للجراثومة الكبيرة (Megaspore mother cell) (شكل ٢٨٠ : أ) ، وتنقسم انقسامين متتاليين - أولها انقسام اختزالي - ينتج عنه تكوين أربع خلايا تنتظم في صف واحد (شكل ٢٨٠ : ج) ، وتكون نواة كل منها وحيدة المجموعة الصبغية ، ثم تأخذ الخلية الطرفية - المتجهة إلى داخل النيوسيلة - في الكبر ، بينما تتحلل الثلاث الأخرى وتستنفد محتوياتها بواسطة الخلية الطرفية ، التي تعرف حينئذ بالجراثومة الكبيرة (Megaspore) ، كما في الشكل (٢٨٠ : د) .

ويحدث بعض التغيرات داخل الجراثومة الكبيرة ينتج عنها تكوين الكيس الجنيني ، إذ تنقسم النواة داخلها إلى نواتين ، تتحرك إحداهما إلى الطرف النقيري بينما تنجى الأخرى إلى الطرف الكلازى (شكل ٢٨١ : أ ، ب) ، ثم تنقسم كل واحدة من هاتين النواتين مرتين ، وبذلك تتجمع عند كل طرف أربع أنوية (شكل ٢٨١ : ج) ، ويعقب ذلك انفصال نواة من كل مجموعة وتحركها نحو مركز الكيس الجنيني ، حيث تبقى النواتان - دون اندماج - حتى وقت الإخصاب (شكل ٢٨١ : د) ، وبذلك يصبح الكيس الجنيني مشتملا على ثمان أنوية ، ثم تحاط كل نواة من الأنوية الثلاث المتجمعة عند الطرف النقيري بطبقة من السيتوبلازم وتظل عارية ، وتعرف هذم المجموعة من الخلايا باسم الجهاز البيضي (Egg apparatus) ، ويطلق على الخلية الوسطى اسم البيضة أو الخلية البيضية (Ovum or egg cell) ، بينما تعرف الخليتان الأخريان بالخليتين المساعدتين (Synergids) - كما في (شكل ٢٨١) - أما النواتان المركزيتان فتعرفان بالنواتين القطبيتين (Polar

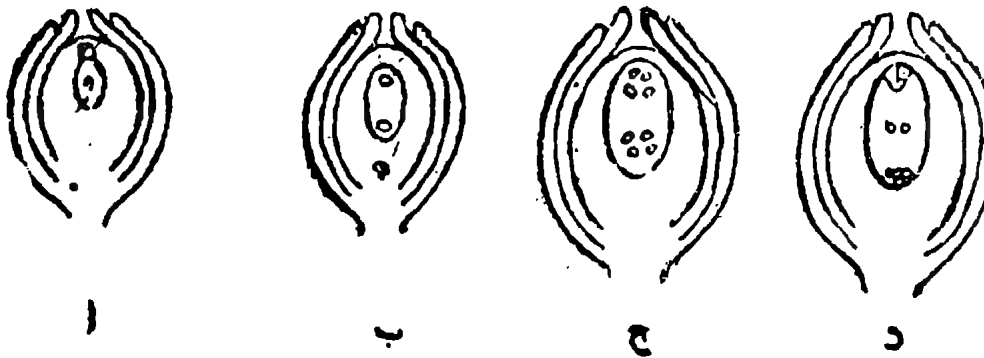
(شكل ٢٨٠)



قطاع طولى مركزى في بويضة سفيره نبات الدرع زبيب خطوات تشكيل الجنّة
الكبرى : (أ) تميز خلية تحت البصرة إلى خلية والدة جرثومية ، (ب) انقسام الخلية الوالدة
إلى خليتين ، (ج) انقسام الخلية الوالدة إلى أربع خلايا تنظم في صف واحد ، (د) تشكيل
الجنّة الكبرى من الخلية الطرفية بعد أن كبرت في الحجم واستفدت عنويات الخلايا الثلاث
الأخرى (من رسمه) .

(nuclei) ، وعندما تندمجان يطلق على النواة الناتجة اسم نواة الإندوسبرم الابتدائية (Primary endosperm nucleus) أو النواة المحددة (Definitive nucleus) ، أما الأنوية الثلاث المتجمعة بالطرف الكلازى فتحاط كل واحدة منها بطبقة من السيتوبلازم وجدار خلوى ويطلق عليها اسم الخلايا السمينية (Antipodal cells) كما فى (شكل ٢٨١) .

(شكل ٢٨١)

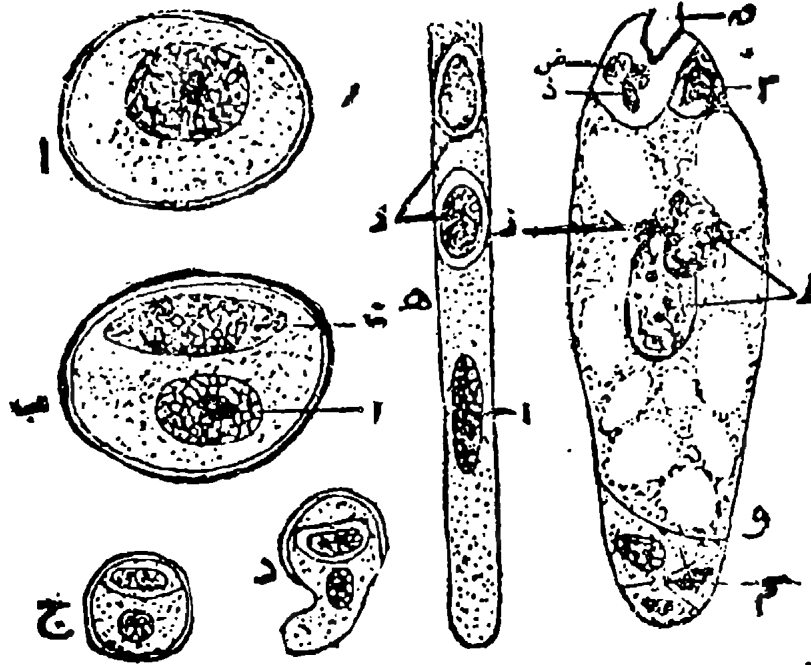


رسوم تخطيطية لطاعات طويلة فى البويضة تبين الخطوات التدريجية (١ - د) فى تكوين كيس الجنين من الجرثومة الكبيرة .

الإخصاب :

عندما يتم تكوين الكيس الجنينى تصبح البويضة مهيأة للإخصاب (Fertilization) ، فإذا ما وقعت حبة لقاح على الميسم تبدأ فى الإنبات فتخرج منها أنبوبة اللقاح (Pollen tube) ، وتنتقل إلى نهايتها النواة الأنوية (شكل ٢٨٢ : د) وتلبها النواة التناسلية ، التى تنقسم إلى نواتين ذكريتين (Male nuclei) - (شكل ٢٨٢ : هـ) - وتنمو أنبوبة اللقاح آخذة طريقها فى القلم (شكل ٢٨٣) ، وعند وصولها إلى البويضة تتجه إلى النقر مستجيبة لجاذبية مادة تفرزها البويضة ، وتخرق النيوسيلة حتى تصل إلى الكيس الجنينى ، وعندئذ تتلاشى النواة الأنوية ، ثم يتمزق طرف أنبوبة اللقاح وتفرغ ما تحويه من سيتوبلازم ونواتين ذكريتين داخل الكيس الجنينى ، ثم تقترب إحدى النواتين الذكريتين من البيضة (شكل ٢٨٢ : و) ويتلاشى

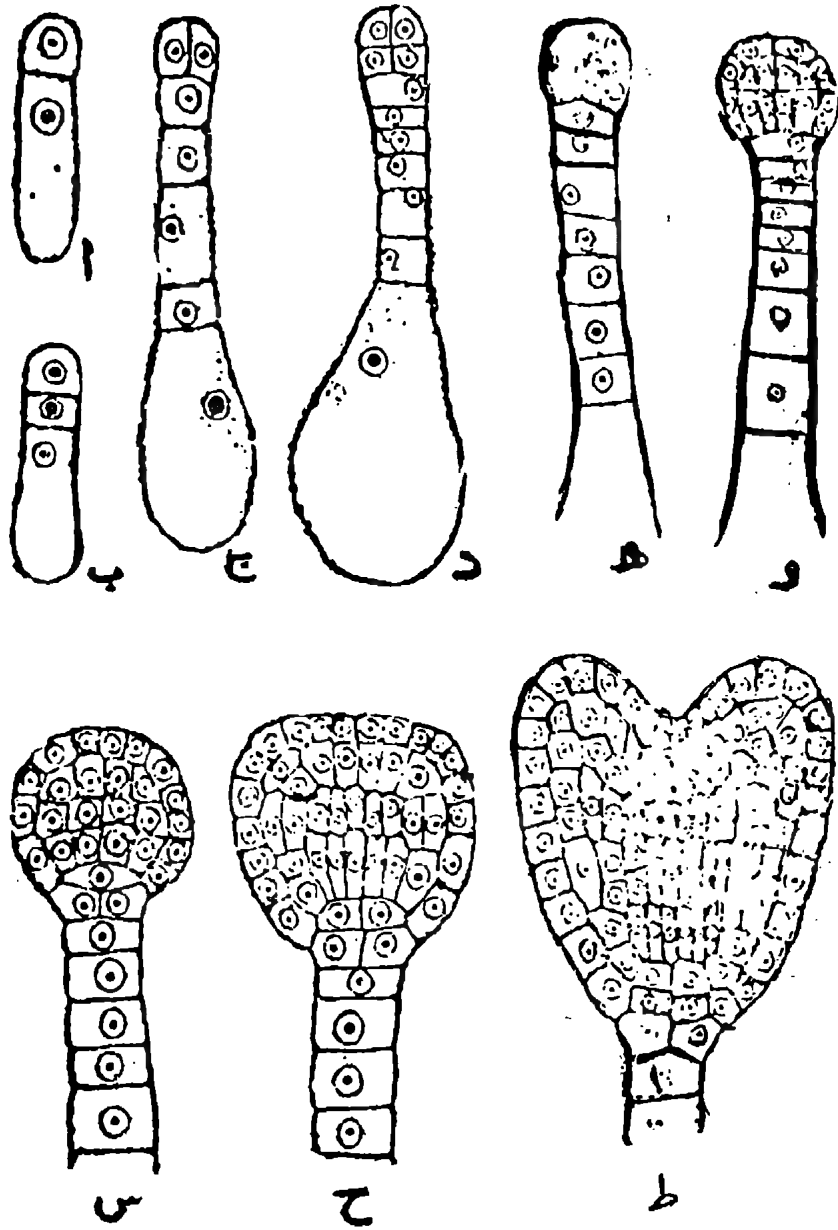
(شكل ٢٨٢)



أطوار الإنبات في حبة اللقاح وعملية الإخصاب : (١) حبة لقاح ؛ صبغة تحتوي على نواة واحدة ، (ب ، ج) حبتا لقاح في طور متأخر ، وتحتوي كل منهما على النواة التناسلية والنواة الأنبوية ، (د) طور مبكر في تكوين أنبوبة اللقاح ، (هـ) جزء طرفي من أنبوبة اللقاح تحتوي على النواة الأنبوية والنواتين الذكريتين ، (و) الكيس الجنيني وقت الإخصاب . (١) للنواة الأنبوية ، (ت) النواة التناسلية ، (ذ) النواة الذكرية و (سم) : خلية سميثة ، (ض) نواة بيضية ، (ط) النواتان القطبيتان ، (ق) جزء طرفي من أنبوبة اللقاح ، (م) خلية مساعدة (عن فرنش وسال-بوري) .

الجدار الذي يفصلهما ، وتتخذ نواتهما لتكونا اللاقحة ، وتصبح نواتها ثنائية المجموعة الصبغية ، ويرجع ذلك إلى احتواء كل من النواتين الذكرية والبيضية على مجموعة صبغية أحادية. وينشأ الجنين نتيجة لانقسام اللاقحة، وفي نفس الوقت الذي تتحد فيه النواة الذكرية بنواة البيضة يتم اتحاد النواة الذكرية الأخرى بنواة الإندوسيرم الابتدائية (شكل ٢٨٢ : و) ، وتكون النواة الناتجة ثلاثية المجموعة الصبغية (Triploid) ، وينشأ الإندوسيرم نتيجة لانقسام هذه النواة. ويعد الإندوسيرم بمثابة نسيج احتزائي، يستخدم فيما بعد لإمداد الجنين بما يحتاج إليه من مواد غذائية في المراحل الأولى من التكوين .

(شكل ٢٨٤)



تسكون الجنين في نبات ذي فلتين : (ا) أول انقسام اللاصقة ، (ب ، ج ، د) أطوار
مختلفة تبين انقسام القلية الجنينية ، (هـ) طور الجنين ذي الثمان خلايا ، (و ، ز ، ح)
أطوار تمثل توالى انقسام الخلايا الجنينية ، (ط) طور يتميز فيه الثانتان (عن هويت)

وتتميز الخلايا العليا البعيدة عن النقيز إلى فصين - يمثلان الفلقتين في نباتات ذوات الفلقتين - حيث يوجد بينهما تجويف تخرج منه الريشة فيما بعد . أما الخلايا السفلية القريبة من النقيز فينشأ منها الجذير والسويقة تحت الفلقية .

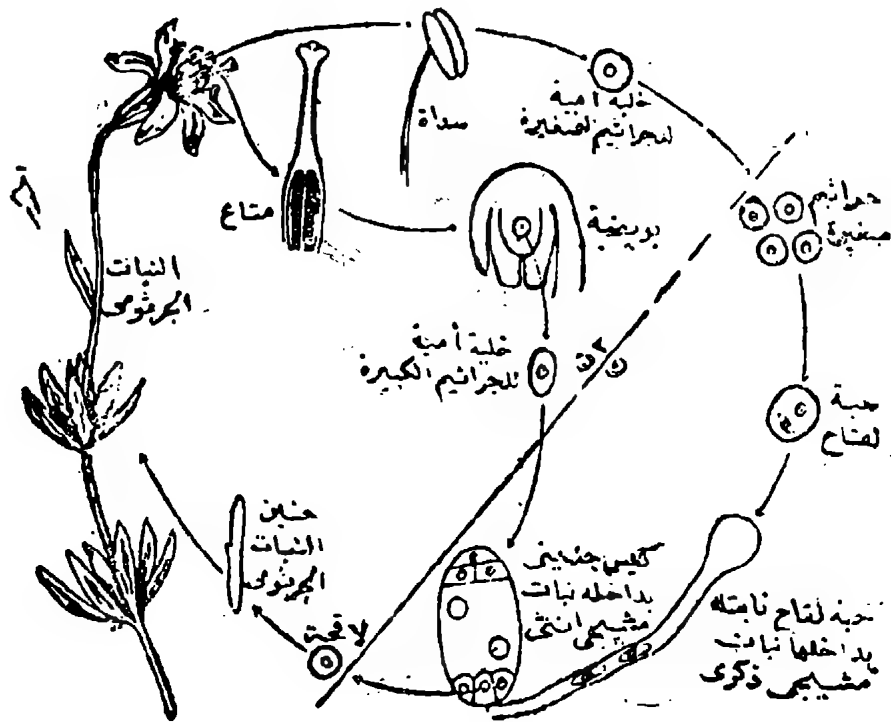
وتنقسم نواة الإندوسبرم - بعد عملية الإخصاب بفترة وجيزة - انقساماً سريعاً متوالياً ، يعقبه تكوين جدر تغلف الأنوية وما يحيط بها من سيتوبلازم ، وبذلك يتكون نسيج الإندوسبرم . وهذا النسيج إما أن يبقى خارج الجنين فيشغل جزءاً من البذرة - يختلف حجمه في بذور النباتات المختلفة - وعندئذ توصف البذرة بأنها إندوسبرمية ، أو يستنفذ أثناء تكوير الجنين ويحتزن داخل الفلقات ، وتوصف البذرة حينئذ بأنها غير إندوسبرمية .

ويتركب الجنين في النباتات ذوات الفلقتين من فلقتين تحصران بينهما الريشة ، بينما يوجد الجذير في الطرف المقابل للنقيز ، أما في بذور ذوات الفلقة الواحدة فيتركب الجنين من فلقة واحدة تقع على الجانب الملاصق للإندوسبرم ، ويحيط بكل من الجذير والريشة غمد .

وبعد عملية الإخصاب تختفى الخلايا المساعدة والخلايا السميكية ، ويستنفذ الجنين أثناء تكويره الجزء الباقي من النيوسيلة ، ثم يتصلب الغلافان البويضيان ليكونا القصرة ، ومن ثم يتم تكوين البذرة .

وإذا تتبعنا دورة الحياة في نبات من كاسيات البذرة (شكل ٢٨٥) نلاحظ تميزها إلى طورين : جرثومي ومشيجي ، فهي تشبه من هذه الناحية دورة الحياة في نبات الصنوبر والنباتات السرخسية والحزازية ، ولكن تختلف عنها في ضآلة حجم النبات المشيجي إلى درجة كبيرة يستحيل معها رؤيته بالعين المجردة ، بينما يصل النبات الجرثومي إلى حجم كبير ودرجة متقدمة من التخصص والتعضي والتعقيد في تركيبه .

(شكل ٢٨٥)



ملخص دورة حياة نبات من كليات الذكور . جيم خلايا التراكيب والأعضاء الواقعة أعلى الخط المخطط ثنائية المجموعة الصبغية (٢ ن) ، أما تلك الواقعة تحت ثنائية المجموعة الصبغية (ن) . (عن روبرتس) .

(الثمار)

عند انتهاء عملية الإخصاب ، تطرأ على الكيس الجنيني تغيرات تؤدي إلى تكوين البذرة ، ويتبع ذلك تضخم المبيض ، وقد تتعدى التغيرات المبيض إلى الأجزاء الأخرى من الزهرة ، وينتج عن ذلك تكوين الثمرة (Fruit) . وقد يشترك النخس في تكوين الثمرة كما في التفاح (*Pyrus malus*) ، أما الأجزاء الأخرى - مثل السبلات والبتلات والأسدية - فهي عادة تأخذ في الذبول ثم تسقط عند تكوين الثمار ، ولكن تشد ثمار بعض النباتات عن هذه القاعدة ، فمثلاً في ثمار الباذنجان (*Solanum melongena*) يظل الكأس باقياً بعد تكوين الثمرة . وفي ثمرة القرع (*Cucurbita sp.*) تستديم البتلات ، وفي ثمرة الرمان (*Punica sp.*) تبقى الأسدية متصلة بالثمرة بعد تكوينها .

وتتميز البذرة عن الثمرة بوجود ندبة واحدة في الأولى هي السرة ، بينما توجد على الثمرة نديتان . إحداهما تمثل موضع اتصالها السابق بالنبات والأخرى تمثل بقايا القلم .

وتنقسم الثمار إلى عدة أنواع ، وهناك عدة أسس للتقسيم منها :

(أولاً) تكوين الثمرة إما من المبيض فقط أو بالاشتراك مع أجزاء الزهرة لأخرى مثل النخس ، فالثمار التي من النوع الأول تعتبر صادقة (True) ، أما التي من النوع الآخر فتعرف بالثمار الكاذبة (Pseudocarps or false fruits) .

(ثانياً) تكوين الثمار من زهرة واحدة أو من نورة ، فالنوع الأول يوصف بالثمار البسيطة (Simple fruits) والثاني بالثمار المركبة (Multiple or Composite fruits) أما الثمرة التي تنشأ من زهرة واحدة سائبة الكرابل فتعرف بالثمرة المتجمعة (Aggregate fruit) .

ويمكن تقسيم الثمار على النحو الآتي :

الثمار البسيطة :

تنشأ هذه الثمار إما من متاع ذى كربة واحدة وإما من عدد من الكرابل الملتحمة ، وتتميز إلى نوعين : (أولا) الثمار الجافة (Dry fruits) و (ثانياً) الثمار الطرية (Succulent fruits) .

(أولاً) الثمار الجافة :

فى هذه الثمار يكون الجدار جافاً ، رقيقاً أو سميكاً أو خشبياً ، وتتميز إلى الأنواع الآتية :

(أ) الثمار الجافة غير المتفتحة (Indehiscent) : وهى التى يظل جدارها مغلقاً ، ولا تتحرر البذور إلا بعد انحلال جدار الثمرة .

(ب) الثمار الجافة المتفتحة (Dehiscent) : وفيها يتفتح الجدار بطرق شتى لتتحرر البذرة .

(ج) الثمار المنشقة (Schizocarpic) : وفيها تنشق الثمار إلى عدد من الثمار الجزئية (Mericarps) ، وتظل مقفلة غالباً ، وتحتوى كل منها على بذرة واحدة .

١ - الثمار الجافة غير المتفتحة : وتشمل هذه الثمار عدة طرز هى :

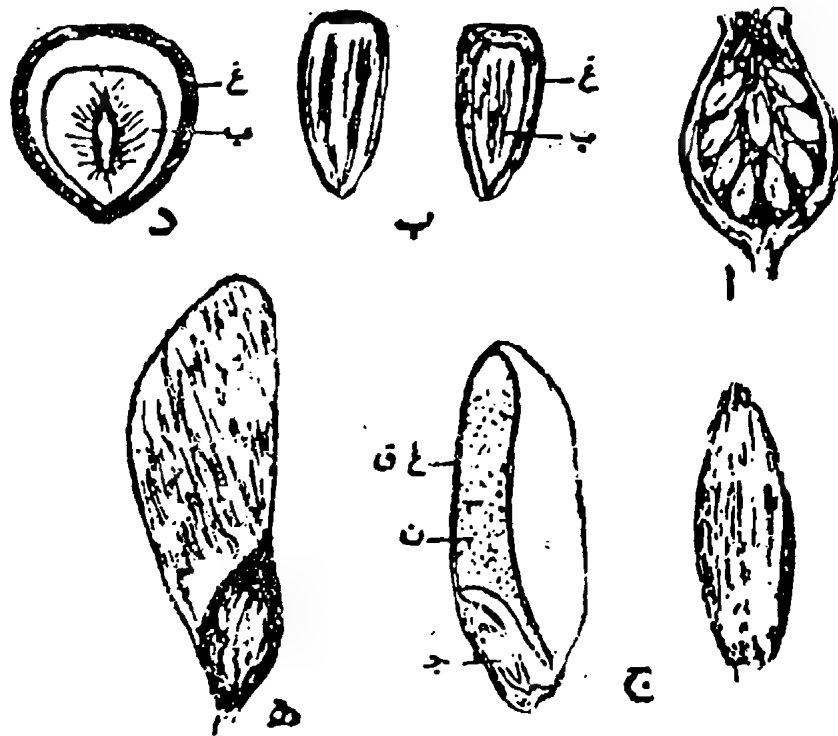
١ - الفقيرة (Achene) - (شكل ٢٨٦ : أ) - وتتركب من كربة واحدة تحتوى على بذرة واحدة . وغلافها غشائى أو جلدى ولا يلتحم بقصرة البذرة ، وعادة تكون الثمرة ناتجة من إحدى كرابل متاع يتكون من عدة كرابل منفصلة كما فى الورد .

٢ - السبسلاء (Cypsela) - (شكل ٢٨٦ : ب) - تتركب من كرتين ملتحمتين لمبيضهما غرفة واحدة تحتوى على بذرة واحدة ، وجدار الثمرة غير ملتحم مع قصرة البذرة ، كما فى ثمار الفصيلة المركبة ، مثل عباد الشمس .

٣ - البرة (Caryopsis) - (شكل ٢٨٦ : ج) - وهى تشبه الفقيرة إلا أن الغلاف فيها ملتحم مع قصرة البذرة ، كما فى القمح (Triticum) .

٤ - البندق (Nut) - (شكل ٢٨٦ : د) - تتركب من كربلتين أو ث كرابل ملتحمة ، والمبيض ذو غرفة واحدة تحتوي على بذرة واحدة غلاف الثمرة خشبي ، كما في البندق (Corylus) .

٥ - الجناحية (Samara) - (شكل ٢٨٦ : هـ) - وهي تشبه الثمرة فقيرة ، إلا أن غلافها يمتد على هيئة زوائد تشبه الأجنحة ، كما في ثمرة أبي كارم (Machaerium tipa) . (شكل ٢٨٦)

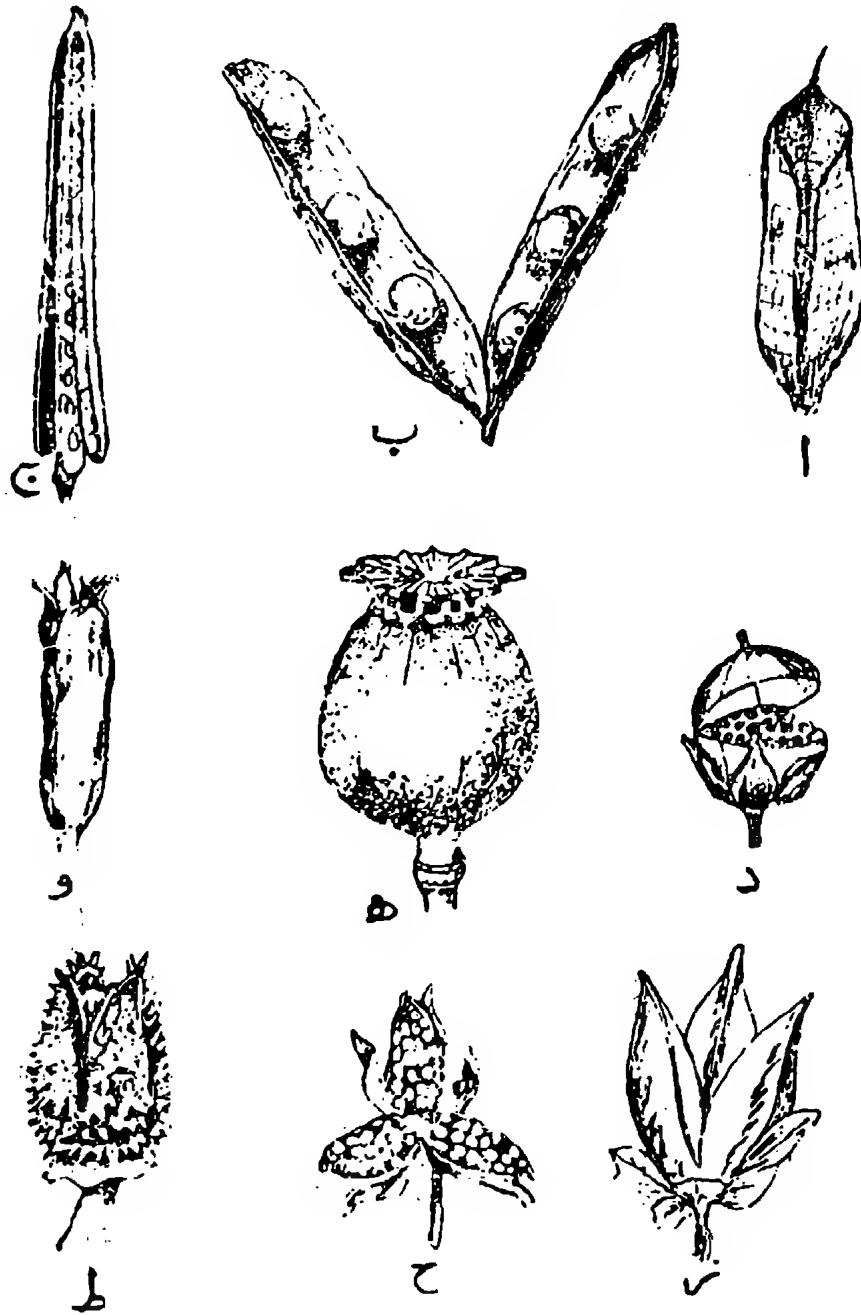


١ - الثمار الجافة غير المنفحة : (١) ثمرة الورد وهي مجموعة ثمار فقيرة ، (ب) إلى اليسار ثمرة بلاد الشمس السبلالة وإلى اليمين قطاع طولي مركزي في نفس الثمرة ، (د) قطاع طولي مركزي في البندق ، (هـ) ثمرة أبي المسكارم الجناحية ، (ب) بذرة ، (ج) الجنين ، (غ) غلاف ثمرة ، (غ. ق) غلاف الثمرة والامرة متحدان ، (ن) إندوسبرم .

(ب) الثمار الجافة المنفتحة : في هذه الثمار يتفتح الجدار بطرق شتى ، تبعاً لطريقة التفتح يمكن تقسيمها إلى الأنواع الآتية :

١ - الجرابية (Follicle) - (شكل ٢٨٧ : أ) - وتنشأ من كربلة واحدة ، وتفتح على طول الطراز البطني (Ventral suture) فقط كما في بار العابق (Delphinium) .

(شكل ٢٨٧)



الثمار الخافضة للنتحة (ا) ثمرة العايق الجرابية ، (ب) ثمرة المول القرمية ، (ج) ثمرة
المشور الخردلة ، (د) ثمرة عين القط ، وهي ثمرة تنتج أنثيا على امتداد خط دائري ،
(هـ) ثمرة العشعاش وهي علة تنتج نقوب ، (و) ثمرة البهر من وهي علة تنتج بالاسنان
(ز) ثمرة القطب وهي علة انتاجها مسكي ، (ح) ثمرة البهيج ، وهي علة انتاجها
حاحزي ، (ط) ثمرة الدائرة وهي علة انتاجها صمام.

٢- القرنة أو البقلاء (Legume) - (شكل ٢٨٧ : ب) - تتكون من كربة واحدة ، وتفتح على طول الطريزين الظهري (Dorsal) والبطني (Ventral) ، وبذلك ينشق جدار الثمرة إلى مصراعين متصلين من أسفل ، كما في ثمار الفول والبازلاء .

٣- الخردلة (Siliqua) - (شكل ٢٨٧ : ج) - تتركب من كرتين يفصلهما حاجز كاذب ، ويفصل الجدار من أسفل إلى أعلى تاركاً الحاجز الكاذب كما في ثمرة نبات المشور (Matthiola) ، وتكون الخردلة عادة طويلة وضيقة ، أما إذا كانت الثمرة قصيرة ومفلطحة فيطلق عليها الخريدلة (Silicula) ، كما في ثمرة نبات كيس الراعى (Capsella bursa-pastoris) .

٤- العلبة (Capsule) تتكون عادة من كرتين أو أكثر ، وتبعاً لطريقة الانفتاح يمكن تقسيم العلبة إلى الأنواع الآتية :

• علبة تفتح على امتداد خط دائري يقع في منتصف المبيض تقريباً - (شكل ٢٨٧ : د) - وبذلك يفصل النصف العلوي من الجدار على هيئة غطاء ، كما في ثمار نبات عين القط (Anagallis) .

• علبة تفتح بوساطة ثقب عند قمة الكرابل (شكل ٢٨٧ : هـ) - وتنشأ هذه الثقوب نتيجة للانفصال الجزئي للمياسم عند نضجها ، كما في ثمار نبات الخشخاش (Papaver) .

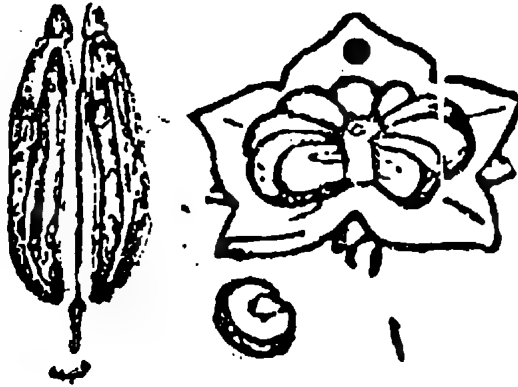
• علبة تفتح بوساطة أسنان - (شكل ٢٨٧ : و) - تنشأ نتيجة للانفصال الجزئي للكرابل ، كما في ثمرة القرنفل (Dianthus) .

• علبة تفتح طويلاً على امتداد الطراز الظهري للكربة (شكل ٢٨٧ : ز) وتبقى البذور ملتصقة بالمحور المركزي ، ويعرف هذا الانفتاح بالمسكني (Loculicidal) ، كما في ثمرة القطن .

• علبة تفتح طويلاً ، وذلك بانشقاق الحواجز التي تفصل المساكن (شكل ٢٨٧ : ح) ، ويعرف هذا الانفصال بالحاجزي (Septicidal) ، كما في ثمرة نبات البنفسج (Viola) .

• غلبة تتفتح طويلاً بزوال الحواجز—(شكل ٢٨٧: ط)—بدلاً من انشقاقها كما في النوع السابق ، وبذلك تفقد اتصالها بالجدر الخارجية للكرابل ويعرف هذا الانتفاح بالصامى (Septifragal) ، كما في نبات الداتورة (Datura) .

(شكل ٢٨٨)



(ج) الثمار المنشقة

(Schizocarpic) : وهي ثمار

جافة ، وتتركب كل ثمرة

من أكثر من كربلة واحدة

ملتحمة مع بعضها البعض.

ولكنها لا تلبث أن تنشق بعد

نضجها إلى عدد من الثمار

الجزئية (Mericarps) غير

المتفتحة وحيدة البذرة. مثل

ثمرة الخطمية (Althaea)

الثمار المنشقة (١١) ثمرة الخطمية وبأسفلها ثمرة جزئية ، (ب) ثمرة اليانسون

(شكل ٢٨٨ : ١) وثمار الفصيلة الخيمية (Umbelliferae) مثل اليانسون

(Pimpinella anisum) كما في شكل (٢٨٨ : ب) .

(ثانياً) الثمار الطرية :

هذه الثمار غير متفتحة ، وتمتاز بجدرها اللينة التي تصبح شحمية سمينة

عند تمام نضجها ، ويتميز الغلاف الثمرى فيها إلى ثلاث طبقات ؛ وهناك

ثلاثة أنواع من هذه الثمار .

١ - الحسلية (Drupa) : يتميز فيها الغلاف الثمرى إلى طبقة خارجية

(Epicarp) جلدية وطبقة وسطى (Mesocarp) لحمية مليئة بالعصارة وطبقة

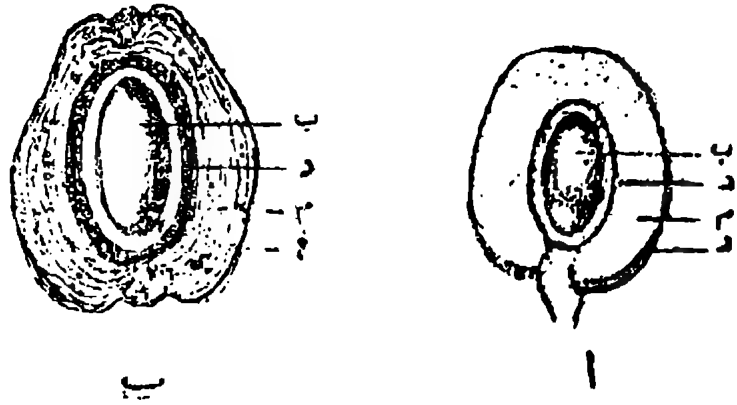
داخلية (Endocarp) صلبة تحتوى على بذرة واحدة ، كما في ثمار نبات البرقوق

(Prunus domestica) والمشمش (Prunus armeniaca) - (شكل ٢٨٩ : ١)

- وتكون الطبقة الوسطى ليفية في بعض الثمار الحسلية مثل جوز الهند والدوم

(Hyphaene thebaica) كما في (شكل ٢٨٩ : ب) .

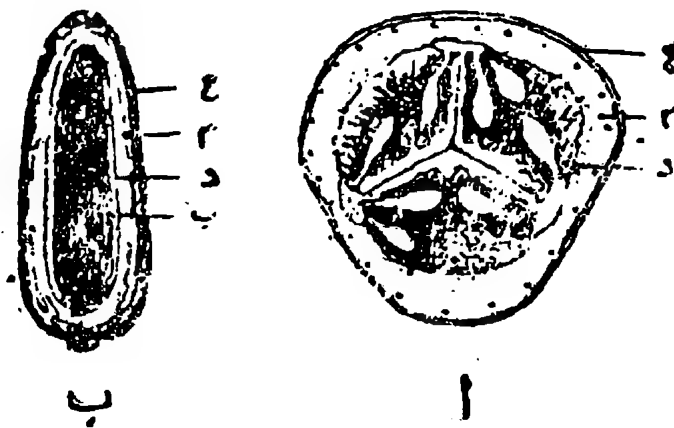
(شكل ٢٨٩)



انهار الطرية الحسية : (١) قطاع طولى في ثمرة الخس ، (٢) قطاع طولى في ثمرة
هوم . (٣) بذرة ، (٤) الطبقة الخارجية من الغلاف الثمرى . (٥) الطبقة الداخلية من
ذلك الغلاف ، (٦) الطبقة الوسطى .

٢ - اللية (Berry) تختلف هذه الثمرة عن سابقتها في عدم تحشب الطبقة
الداخلية وبقاء الجدار بطبقاته الثلاث طريا ، كما في ثمار نباتات الطماطم
(*Solanum lycopersicum*) والعنب (*Vitis*) والخيار (*Cucumis sativus*)
كما في شكل (٢٩٠ : ١) . وفي ثمرة البلح (شكل ٢٩٠ : ٢) تمثل الطبقة
الداخلية غشاء رقيق يحيط بالبذرة .

(شكل ٢٩٠)



انهار الطرية لينة ، ويرى إلى اليسار الجدار مستعرض في ثمرة الخيار وإلى اليمين
قطاع طولى في ثمرة البلح . (١) بذرة ، (٢) الطبقة الخارجية من الغلاف الثمرى ،
(٣) الطبقة الداخلية منه ، (٤) الطبقة الوسطى .

(شكل ٢٩١)



الثمرة التفاحية : تفاح مسمر في
ثمرة التفاح

٣ — الثمرة التفاحية (Pome) :

في هذه الثمرة يتضخم التخت ، ويشغل معظم جسم الثمرة ، وينحصر الجدار الحقيقي الناتج عن حدار المبيض في جزء صغير يتوسط الثمرة ويحيط بالبذور ، كما في ثمرة التفاح

(Pyrus malus) — (شكل ٢٩١) —

والكمثرى (Pyrus communis) ،

وتعتبر الثمرة التفاحية كاذبة لأن الجزء الرئيسي منها هو التخت المتضخم ، وهو الجزء الذي يؤكل .

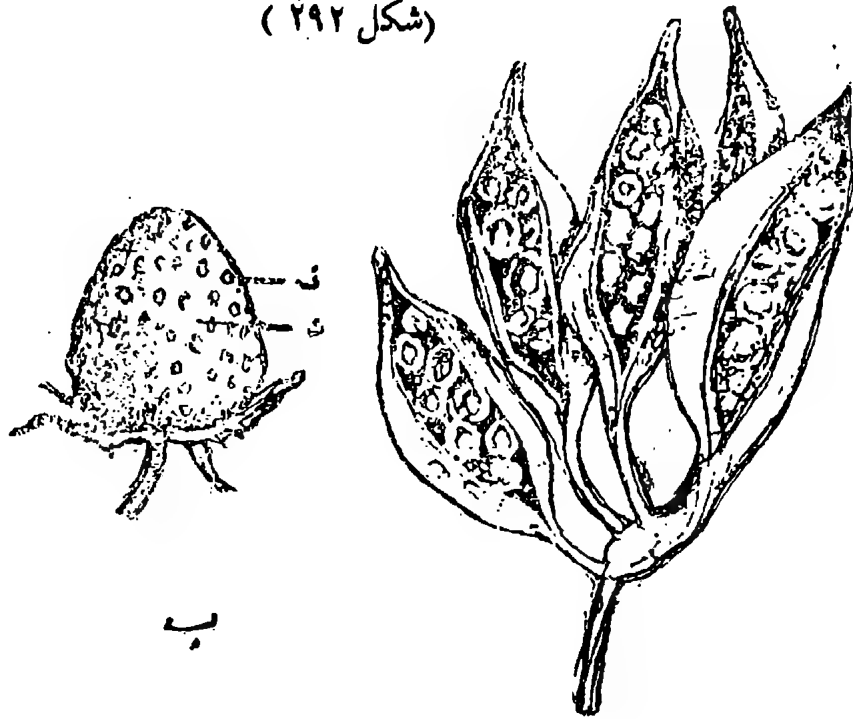
الثمار المتجمعة :

تنشأ الثمرة المتجمعة (Aggregate fruit) من متاع ذي كرابل سائبة ، ولذلك فهي تتركب من عدد من الوحدات المتجمعة تنتمي إلى زهرة واحدة وهذه الوحدات إما أن تكون ثماراً فقيرة متجمعة على تحت متضخم مثل ثمرة نبات الشليك (Fragaria) (شكل ٢٩٢ : ب) وإما أن تكون ثماراً جرابية متصلة ببعضها البعض كما في ثمرة نبات بودرة العفريت (Sterculia) كما في (شكل ٢٩٢ : ١) .

الثمار المركبة :

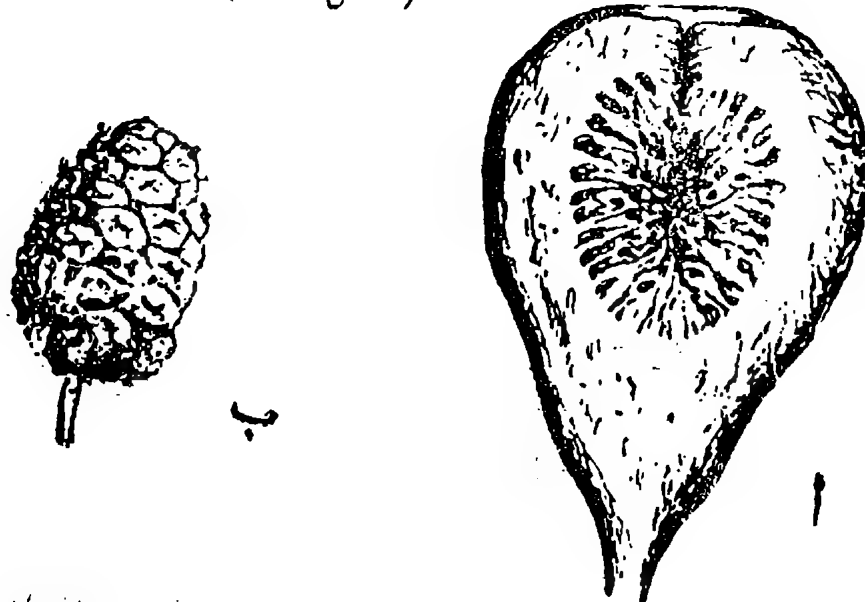
في هذا النوع من الثمار تشترك مجموعة من الأزهار أو النورة في تكوين الثمرة ، فمثلاً تتركب ثمرة نبات التين البرشومي (Ficus carica) — (شكل ٢٩٣ : ١) — من شمراخ شحمي مجوف تبطنه مجموعة من الأزهار الذكورية والأنثوية . وتوجد الأولى في المنطقة العليا القريبة من الفتحة والثانية مبطنة لبقيّة التجويف ، والجزء الذي يؤكل يمثل الشمراخ المتشجم . أما في التوت (Morus) فتوجد أزهار ذكورية وأخرى أنثوية في نورات منفصلة . والنورة التي تحمل الأزهار الأنثوية تبدو كثيفة نظراً لتزاحم الأزهار بها ، وتعطى

(شكل ٢٩٢)



الثمار للنبجحة : (أ) ثمرة يودرة العقرية وطبها الوحدات جرابية ، (ب) ثمرة
النبجك وطبها الوحدات قليلة (ث) الذئب ، (د) ثمرة نقيرة .

(شكل ٢٩٣)



الثمار المركبة : (أ) قطاع طولى في ثمرة النبن للبرسيمى ، (ب) مدقار دارجى
الثمرة التوت .

كل زهرة ثميرة (بنيدقة Notlet) محاطة بالغلاف الزهري الذى يصبح غليظا وعصيريا ، وينمر هذه الثمرات تزداد فى تراحمها وتلتحم مع بعضها البعض مكونة الثمرة المركبة (شكل ٢٩٣ : ب) .

الثمار الكاذبة :

إذا اشتركت أجزاء أخرى غير المبيض فى تكوين الثمار سميت تلك الثمار كاذبة ، ففى ثمرة التفاح والكثيرى يتضخم التخت ويكون معظم الثمرة ، بينما ينحصر المبيض فى جزء ضئيل من الثمرة ، وتعتبر ثمرة الشليك ثمرة كاذبة أيضاً ، وذلك لتضخم التخت الذى يحمل مجموعة من الثمار الصغيرة الدقيقة . وكذلك يمكن اعتبار ثمرة التين ثمرة كاذبة ، وذلك لأن الجزء الأكبر من الثمرة هو عبارة عن الشمراخ الشحمى ، أما فى ثمرة التوت فنظراً لتغلظ الغلاف الزهري وتكوينه لمعظم الثمرة فتعتبر ثمرة كاذبة .

(إنتثار الثمار والبذور) :

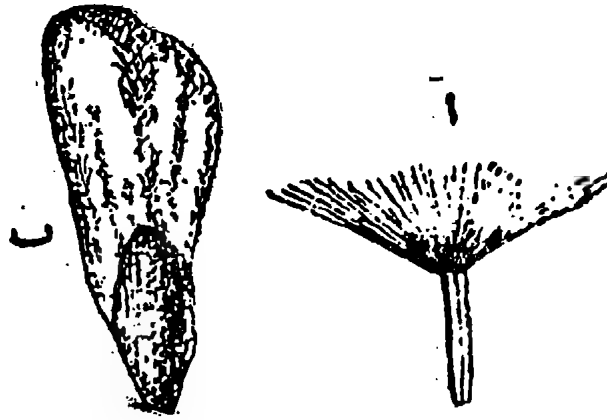
تنتج النباتات عدداً وفيراً من الثمار والبذور ، فإذا سقطت هذه بالقرب من النباتات المنتجة لها - وكانت الظروف مهيأة للإنبات - نشأت النباتات الجديدة مزاحة الجذور والسيقان ، وعندئذ لا يتمكن كل نبات من الحصول على ما يلزمه من ضوء أو ماء أو غذاء ، ويزداد التنافس بين النباتات ، وذلك لأن ما تحتاج إليه يفوق ما تشتمل عليه هذه المساحة المحدودة من ماء وغذاء ، ويرتب على ذلك ضعف النباتات مما قد يؤدي إلى انقراضها . ولكي تتحاشى النباتات قسوة التنافس للمحافظة على جنسها تميزت ثمارها وبذورها ببعض الخصائص التى تساعد على حملها بوساطة الرياح أو الحيوان أو الماء ، وبذلك تنتشر النباتات بعيدة عن بعضها . لتستوفى احتياجاتها من ماء وغذاء دون تنافس . وهناك بعض نباتات لها ثمار تتفتح بطرق ميكانيكية ينتج عنها انتشار البذور بعيداً عن النبات .

الانتثار بوساطة الرياح : تنفرد الثمار والبذور التى تنتثر بوساطة الرياح ببعض صفات تساعد على سهولة الحركة ، ومن بين هذه الصفات صغر

الحجم وخفة الوزن ، كما في بذور الأراشيد (Orchids) . وفي ثمار بعض النباتات — مثل أبي المكارم (شكل ٢٩٤ : ب) — يمتد غلاف الثمرة ويأخذ شكل الجناح ، وفي ثمرة الحميض يظهر الكأس على هيئة أجنحة . ومن الصفات الأخرى التي تساعد على الانتثار بوساطة الرياح وجود شعيرات على البذور أو الثمار ، ففي بذور القطن تمتد خلايا القصرة الخارجية لتكوين شعيرات ، وفي ثمار الفصيلة المركبة — مثل ثمرة الجعصيف (Sonchus) (شكل ٢٩٤ : أ) — يمثل الكأس عداد من الشعيرات أو الزغب الذي يوجد أعلى المبيض .

وفي نبات الخشخاش (Papaver) تكون الثمرة مبهولة على حامل مرن يتحرك جيئة وذهاباً بتأثير الرياح ، وفي أثناء هذه الحركة تنطلق البذور خلال الثقوب التي توجد بأعلى الثمرة .

(شكل ٢٩٤)



ج

انتثار الثمار : (أ) ثمرة الجعصيف : (ب) ثمرة أبي المكارم ، (ج) ثمرة الخشخاش .
الغبيط إلى اليسار والبرسيم المجازى إلى اليمين .

الانتثار بوساطة الحيوان : تمتاز الثمار التي تنتشر بوساطة الحيوان بألوانها الجذابة وغلافها الشحمي ، وتكون بذورها مصونة إما بطبقة صلبة تمثل الطبقة الداخلية لغلاف الثمرة كما في الثمار الحسلية أو بقشرة صلبة كما في الثمار اللبية ، ولذلك لا تصاب هذه البذور بضرر إذا ما التقطتها الطيور والحيوانات الأخرى ومرت في قناتها الهضمية حيث تفرز المواد الحمضية. وعندما تلفظ هذه البذور خارج جسم الحيوان مع البراز تنبت عندما تتوافر لها الشروط الملائمة . وفي نبات الدبق (Viscum) يكون الجزء الطرى من الثمرة لزجا ، فعندما تتغذى عليه الطيور تتعلق البذور بمنقارها ، وعندما تحاول التخلص منها يحك منقارها في فرع شجرة تنتقل البذور إليه حيث تنبت عندما تهيأ لها الظروف الملائمة .

وهناك نوع آخر من الثمار - التي تنتشر بوساطة الحيوان - تتميز بوجود أشواك أو خطافات على سطحها مما يسهل تعلقها بفراء الحيوان أو بريش الطيور . ومن أمثلتها ثمار الشبيط (Xanthium) والبرسيم الحجازي (Medicago sativa) - (شكل ٢٩٤ : ج) - والست المستحية (Mimosa) .

وعندما تسير الحيوانات على الطين تتعلق بأقدامها بعض البذور والثمار ، وبذلك تنقلها من مكان إلى آخر . ويقوم النمل بنصيب في نقل بذور بعض النباتات العشبية لمسافات محدودة ، وتكون لهذه البذور عادة بسباسة (Aril) تجذب النمل .

ويلعب الإنسان دوراً هاماً في نقل البذور ، وذلك باستيرادها من بلدان بعيدة لأغراضه الزراعية والاقتصادية .

الانتثار بوساطة الماء : تقوم المياه الجارية في الأنهار والقنوات بنقل ثمار وبذور بعض النباتات من مكان لآخر ، وكذلك تجرف مياه السيول والأمطار الثمار وبذور النباتات الصحراوية ، وتحملها من منطقة إلى أخرى . وتمتاز الثمار والبذور التي تنتثر بوساطة الماء بقدرتها على الطفو ، وذلك لخفة وزنها أو لاحتوائها على فراغات هوائية ، كما تمتاز أيضاً بعدم انفاذ جدرانها للماء وتمثل هذه الصفات في ثمار جوز الهند ، إذ يتركب الجدار فيها من

(شكل ٢٩٥)



الانتثار الميكانيكي و نثار بسلة الزهور

غلاف خارجي غير منفذ
للماء وغلاف وسطي لين
خفيف جداً - لاحتوائه
على فجوات هوائية -
وغلاف داخلي خشبي
صلب ، وتحتوي الثمرة على
بذرة لها إندوسبرم بداخله
فراغ كبير يشغل الهواء
معظمه .

الانتثار الميكانيكي :

هناك ثمار تفتتح بقوة عندما
يتم نضجها وجفافها وتقذف
بالبذور إلى مسافات بعيدة
في الثمار الناضجة لبعض
نباتات الفصيلة القرنية
كبسلة الزهور (شكل
٢٩٥) وهي ثمار قرنية
تنشق الجدار طولياً من
الطرزين البطني والظهري ،
ثم يلتصق مصرعاً الثمرة لتتفكك

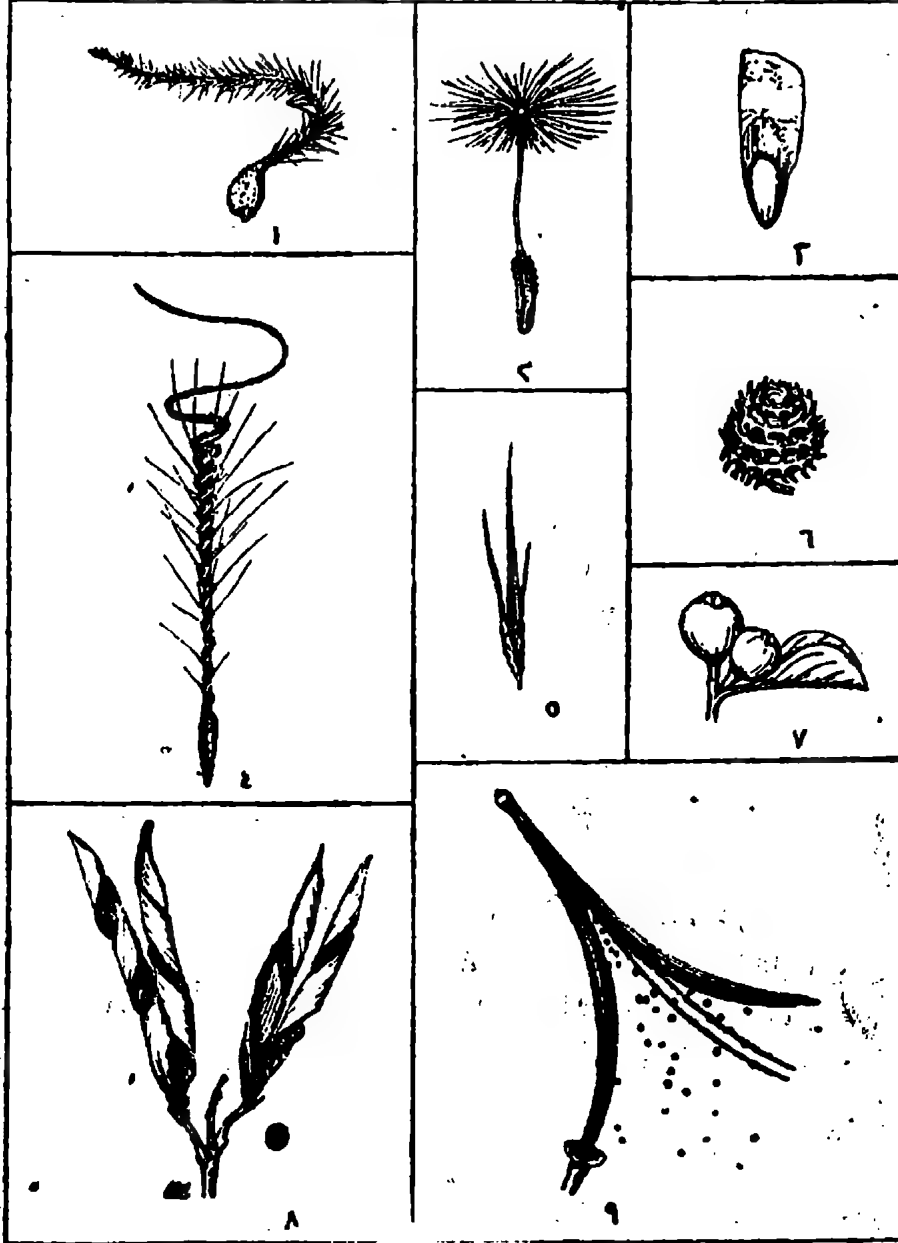
(شكل ٢٩٦)



الانتثار الميكانيكي و ثمرة الجارونيا :
إلى اليسار الثمرة قبل الانتثار ،
وإلى اليمين الثمرة بعد الانتثار (من
فرنش وساليموري) .

حلزونياً يؤدي إلى قذف البذور بعيداً عن النبات . وفي ثمار الدهمة (Erodium)
والجارونيا (Geranium) يظل القلم باقياً في الثمرة ، وعند نضج الأخرية
ينشق إلى أجزاء يتصل كل جزء منها بكريلة تحتوى على بذرة واحدة ، وعندما
تجف هذه الأجزاء إما أن تلتصق حول نفسها كما في ثمرة الدهمة أو تلتوى
إلى أعلى كما في الجارونيا (شكل ٢٩٦) ، وفي كلتا الحالتين تقذف بالبذور
بعيداً عن النبات .

(٢٩١)



طرق الانتشار المختلفة في الثمار والبذور : بواسطة الرياح (١، ٢، ٣)،
بالالتصاق بجسم الحيوان (٤، ٥، ٦)، عن طريق تغذية الحيوان على الثمار
(٧)، بالنفخ بشدة (٨، ٩).

الباب الثامن والعشرون

تقسيم النباتات كاسيات البذور

بدأ علم تقسيم النباتات من قديم الزمن قبل الميلاد بجمع بعض النباتات الطبية وتسميتها ، وكانت الجهود التي بذلت والدراسات التي قامت ترمي إلى الفائدة الطبية ، ثم تطور علم تقسيم النباتات بعد ذلك وأصبح مستقلاً ، ويعتمد في التقسيم على العلاقات الطبيعية بين النباتات ، واتبعت طريقة دقيقة في تسمية النباتات لتجنب الخلط بينها .

ولقد قام لينيس (Linnaeus) ، والذي ولد بالسويد عام ١٧٠٧ ميلادية بتقسيم النباتات على أساس عدد الأسدية ، ثم تبعه جيسي (Jussieu) — الذي عاش في الفترة بين عامي ١٧٤٨ و ١٨٣٦ — وقسم النباتات إلى مائة رتبة تتميز عن بعضها البعض تمييزاً واضحاً ، ولأزال بعضها حتى الآن معروفاً كفضائل ، ثم رتب بعد ذلك في خمس عشرة طائفة ، ثم قسمت الطوائف إلى ثلاث مجموعات كبيرة .

وفي الفترة بين عامي ١٨١٦ و ١٨٤١ ألف كاندول (Candolle) كتاباً ضمنه ٣٠,٠٠٠ نباتاً قام بتقسيمها ووصفها ، وكان تقسيمه شبيهاً بتقسيم لينيس ولكنه تميز عنه باعتماده على أسس طبيعية .

ولقد كان النصف الأول من القرن التاسع عشر مليئاً بالنشاط في تقسيم النباتات واكتشاف نباتات جديدة وطرق مختلفة للتقسيم ، وقام براون — الذي عاش في الفترة بين عامي ١٧٧٣ و ١٨٥٥ — بجمع ٤٠٠٠ نبات كانت غالبيتها جديدة .

وفي الفترة ما بين عامي ١٨٦٤ و ١٨٨٣ وضع بنثام (Bentham) وهوكر (Hooker) مؤلفهما الضخم « أجناس النباتات » (Genera plantarum) تناولوا فيه تقسيم النباتات الزهرية إلى ذوات فلقين وذوات فلق واحدة ،

ثم قسما ذوات الفلقتين إلى ثلاثة أقسام رئيسية ، يتميز القسم الأول منها بانفصال البتلات ، والثاني باتحادها ، والثالث ببساطة الغلاف الزهرى . وتناولا بعد ذلك تقسيم كل قسم من الأقسام الرئيسية على أساس وضع المبيض والمحيطات الزهرية على النخت وشكل الجنين والحالة الجنسية للزهرة وغيرها من العوامل . وفى عام ١٨٨٣ اقترح أيشلر (Eichler) تقسيم المملكة النباتية كما يلي :

(أ) النباتات اللازهرية (Cryptogams) .

(ب) النباتات الزهرية (Phanerogams) .

وتنقسم النباتات الزهرية إلى :

١ — النباتات عاريات البذور (Gymnosperms) .

٢ — النباتات كاسيات البذور (Angiosperms) .

وتنقسم النباتات كاسيات البذور بدورها إلى :

١ — ذوات الفلقة الواحدة (Monocotyledoneae) .

٢ — ذوات الفلقتين (Dicotyledoneae) .

وفى ذوات الفلقتين توجد نباتات يكون فيها الغلاف الزهرى منفصلا ، وتوجد نباتات تتميز باتحاد غلافها الزهرى .

ثم ظهر بعد ذلك لإنجلر (Engler) فى الفترة بين عامى ١٨٤٤ — ١٩٣٠ ، وكان أستاذ للنبات فى جامعة برلين ومديراً لحديقة برلين النباتية ، ونشر تقسيماً يستند أساساً على تقسيم أيشلر (Eichler) ولكنه يختلف عنه فى التفاصيل . إذا اعتبر الفصائل ذات الأزهار العارية والتي لا تحمىها إلقانات — وكذلك ذات الغلاف الزهرى الضامر — من أبسط الفصائل التابعة لتحت الطائفة سائبة الغلاف الزهرى (Archichlamydeae) . ولقد انتشر تقسيم لإنجلر إنتشاراً واسعاً ، ويرجع ذلك إلى الأساس المتين الذى يستند إليه . ووضع لإنجلر وبرانتل (Prantl) مؤلفاً ضمناه وصفاً شاملاً لكل الفصائل وطريقة التعرف عليها .

وظهر وتشتين (Wettstein) في الفترة بين عامي ١٨٦٢ و ١٩٣٨ ، ووضع تقسيماً يشبه إلى حد ما تقسيم إنجلر ، ولكنه يختلف عنه في اعتباره ذوات الفلقتين أبسط من ذوات الفلقة الواحدة .

ولقد اعتبر بيسي (Bessey) الأمريكي (١٨٤٥ - ١٩١٥) أن رتبة الأقحوانيات (Ranales) تضم النباتات الزهرية البدائية ، وأنه تتفرع منها الفصائل التابعة لذوات الفلقة الواحدة وذوات الفلقتين .

ووضع هاليبر (Hallier) الألماني (١٨٦٨ - ١٩٣٢) تقسيماً شبيهاً بتقسيم بيسي ، واعتبر فيه ذوات الفلقتين أبسط من ذوات الفلقة الواحدة . ثم وضع بول (Pulle) الهولندي - عام ١٩٣٨ - تقسيماً محوراً عن تقسيم إنجلر .

ونشر رندل (Rendle) - (١٨٦٥ - ١٩٣٨) - تقسيماً شبيهاً بتقسيم إنجلر مع اختلاف بسيط . كما نظم فيه الرتب في ذوات الفلقتين في ثلاثة أقسام : القسم الأول يضم النباتات التي فيها الغلاف الزهري غير مميز إلى سبلات وبتلات (Monochlamydeae) ، والثاني يضم النباتات التي يتميز فيها الغلاف الزهري إلى سبلات وبتلات ولكنها سائبة وتعرف بسائبة البتلات (Dialypetalae) ، والثالث يضم النباتات ذات الغلاف الزهري المميز إلى سبلات وبتلات متحدة وتعرف بمتحدة البتلات (Sympetalae) .

ولقد ظل تقسيم إنجلر وبرانتل سائداً في معظم المعاشب الكبيرة وكتب الفلورا المختلفة مع تعديل في ترتيب بعض الرتب والفصائل ، ويتبع التقسيم المتبع في هذا الكتاب طريقة إنجلر ورندل .

تنقسم النباتات كاسيات البذور إلى نباتات ذوات فلقتين وأخرى ذوات فلقة واحدة ، وتتميز الأولى بجنين له فلقتان وبالتعرق الشبكي للأوراق وبالخزم الوعائية المفتوحة ، أما المحيطات الزهرية فتكون في الغالب في ترتيب رباعي (Tetramerous) أو خماسي (Pentamerous) . وفي نباتات ذوات الفلقة الواحدة يتركب الجنين من فلقة واحدة ، والأوراق فيها متوازية التعرق والخزم الوعائية مغلقة ، وتنظم المحيطات الزهرية في ترتيب ثلاثي (Trimerous) .

وتنقسم النباتات ذوات الفلقتين إلى قسمين أحدهما يضم النباتات التي يتركب الغلاف الزهرى فيها من أوراق منفصلة أو يكون منعماً (Archichlamydeae or Choripetalae) ، ويشمل الآخر النباتات التي يتركب غلافها الزهرى من أوراق ملتحمة وخاصة البتلات (Sympetalae) . ويمكن تقسيم النباتات التي يتركب فيها الغلاف الزهرى من أوراق منفصلة إلى نباتات غلافها الزهرى لا يتميز إلى سبلات وبتلات ويوجد في محيط واحد (Monochlamydeae) أو يكون منعماً ، ونباتات غلافها الزهرى يتميز إلى سبلات وبتلات (Dialypetalae) ، وسنتناول بالشرح الفصائل النباتية الآتية :

ذوات الفلقة الواحدة :

- الفصيلة النجيلية (Gramineae) : رتبة القنبليات (Glumiflorae) .
- الفصيلة النخيلية (Palmae) : رتبة البرنسييات (Principes) .
- الفصيلة الزنبقية (Liliaceae) : رتبة الزنبقيات (Liliflorae) .
- الفصيلة السوسنية (Iridaceae) : رتبة الزنبقيات (Liliflorae) .

ذوات الفلقتين :

(١) فصائل غلافها الزهرى من أوراق منفصلة :

١ - فصائل غلافها الزهرى غير مميز إلى سبلات وبتلات :

فصائل أزهارها عارية : الفصيلة الصنصافية (Salicaceae) ، رتبة الصنصافيات (Salicales) .

فصائل غلافها الزهرى مكون من محيط واحد : الفصيلة التوتية

(Moraceae) ، رتبة الحريقيات (Urticales) .

٢ - فصائل غلافها الزهرى مميز إلى سبلات وبتلات :

الفصيلة القرنفالية (Caryophyllaceae) : رتبة السنتروسريمات (Centrospermae)

الفصيلة الحشخاشية (Papaveraceae) : رتبة الريودالات (Rhoecadales)

- الفصيلة الصليبية « Cruciferae » : رتبة الريبودالات « Rhoeadales » .
الفصيلة الوردية « Rosaceae » : رتبة الورديات « Rosales » .
ثلاث فصائل تنمى إلى : رتبة القرنيات « Leguminales » .
الفصيلة الجيرونية « Geraniaceae » : رتبة الجرانيالات « Geraniales » .
الفصيلة السذابية « Rutaceae » : رتبة «
الفصيلة الحجازية « Malvaceae » : رتبة الحجازيات « Malvales » .
الفصيلة البنفسجية « Violaceae » : رتبة الجداريات « Parietales » .
الفصيلة الآسية « Myrtaceae » : رتبة الآسيات « Myrtiflorae » .
الفصيلة الخيمية « Umbelliferae » : رتبة الخيميات « Umbelliflorae » .

(ب) فصائل يتركب غلافها الزهرى وخاصة البتلات من أوراق ملتحمة:

- « الفصيلة الزيتونية « Oleaceae » : رتبة الملتويات « Contortae » .
الفصيلة الأبوسينية « Apocynaceae » : رتبة «
الفصيلة العلاقية « Convolvulaceae » : رتبة الأنبوبيات « Tubiflorae » .
الفصيلة الوردانية « Verbenaceae » : رتبة «
الفصيلة الشفوية « Labiatae » : رتبة «
الفصيلة الباذنجانية « Solanaceae » : رتبة «
فصيلة حنك السبع « Scrophulariaceae » : رتبة «
الفصيلة البجنونية « Bignoniaceae » : رتبة «
الفصيلة القرعية « Cucurbitaceae » : رتبة القرعيات « Cucurbitales » .
الفصيلة المركبة « Compositae » : رتبة الناقوسيات « Campanulatae » .

فصائل ذوات الفلقة الواحدة

رتبة القنبليات

تتميز رتبة القنبليات (Glumiflorae) بأزهارها دقيقة الحجم والمنتظمة في سنبيلات ، كما تتميز أيضاً بخلو أزهارها من الغلاف الزهرى الحقيقى وبوجود ثلاث أو ست أسدية ومبيض علوى يتركب من كربة إلى ثلاث كرابل . وتخرج الزهرة من إبط قنابة جافة . والثمرة من نوع البرة أو الفقيرة ، والبذرة غنية بالإندوسبرم، ومن بين الفصائل التى تضمها هذه الرتبة الفصيلة النجيلية .

الفصيلة النجيلية

تعتبر الفصيلة النجيلية (Gramineae) من الفصائل التى تضم عدداً كبيراً من النباتات ، إذ تشتمل على ٤٥٠ جنساً و ٤٥٠٠ نوعاً ، منتشرة في جميع أنحاء العالم وخاصة في المناطق المعتدلة ، حيث تكون البرارى ، وغالبية هذه النباتات عشبية لها جذور ليفية ، ويندر أن تصل إلى حجم كبير كما في الغاب الهندى (Bambusa) . وهى إما حولية أو معمرة ، واكثر منها ريزومات والساق مستديرة المقطع ، وتكون عادة مجوفة ، وتحمل أوراقاً متبادلة ومرتبعة في صفين ولها قواعد غمدية ، وتوجد عند اتصال الغمد بالنصل زائدة غشائية يطلق عليها اسم اللسين ، والنصل عادة مستطيل متوازي التعرق .

وتركب النورة من وحدات تعرف كل واحدة منها بالسنبيلة (Spikelet) وتنظم هذه السنبيلات لتكون سنبلة مركبة (شكل ٢٩٨ : ١) أو تأخذ نظاماً آخر لتكون عنقوداً مركباً ، وتركب السنبيلة من زهرة أو أكثر ، وعادة لا يتعدى عدد الأزهار الخمس ، ففي الشعير والأرز تتركب السنبيلة من زهرة واحدة ، وفي الذرة من زهرتين ، وفي القمح يوجد عدد أكبر من الأزهار .

وتشمل هذه الفصيلة عدداً كبيراً من النباتات الاقتصادية مثل القمح (Triticum vulgare) ، وكذلك عدداً وافراً من النباتات البرية .

نبات القمح :

نبات عشبي ، له ساق أسطوانية جوفاء ذات عقد مصمتة ، وتحمل صفين من الأوراق لها قواعد غمدية ونصل شريطي متوازي التعرق ، ويوجد عند اتصال النصل بالقاعدة لسين .

وتركب النورة من عدد من السنيبلات ، وتتكون كل سنيبل من عدد من الأزهار الجالسة تنتظم على محور قصير مفصلي (Rachilla) - (شكل ٢٩٨ : ب) وتنظم الأزهار في صفين ، وتغلفها جميعاً قنابتان ، يطلق على السفلية منهما اسم القنبعة الأولى (First glume) والعلوية اسم القنبعة الثانية (Second glume) وتحيط بكل زهرة قنابتان ، إحداهما سفلية خارجية - تقع في الجانب الأمامي من الزهرة - وتسمى العصيفة السفلى (Lemma) ، والأخرى علوية داخلية - تقع في الجانب الخلفي من الزهرة - وتسمى العصيفة العليا (Palea) ، والزهرة خنثى وحيدة التناظر ، وتمثل الغلاف الزهري حرشفتان صغيرتان يطلق على كل منها اسم فليسة (Lodicule) - (شكل ٢٩٨ : ج ، د) .

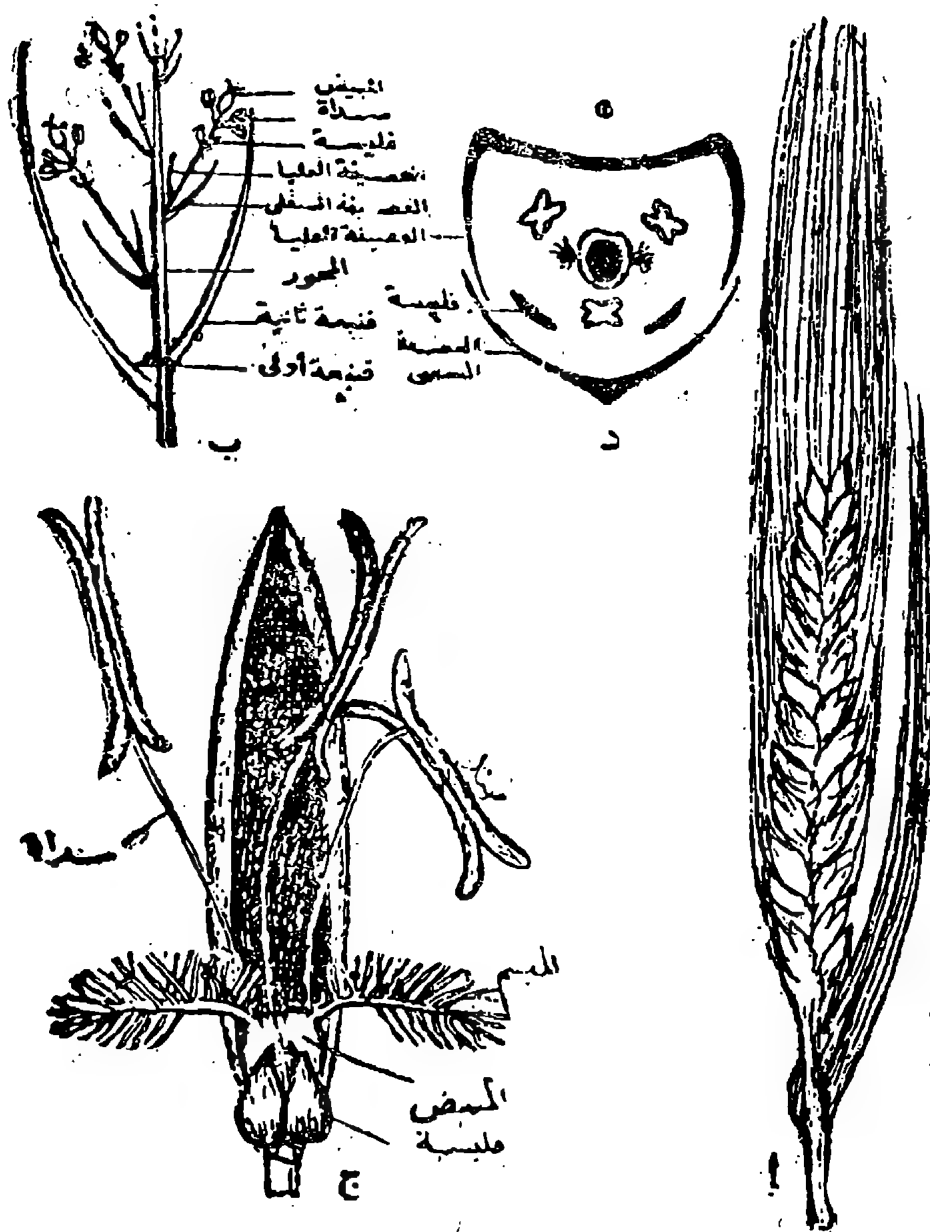
الطلع : يتركب من ثلاث أسدية ، لها خيوط طويلة رفيعة تتصل بالمتوك بالقرب من وسطها (شكل ٢٩٨ : ج) ، ولذلك تتدلى الأخيرة ، ويسهل تحريكها بوساطة الرياح مما يساعد على انتشار حبوب اللقاح .

المتاع : يتركب من كربة واحدة ، والمبيض علوى يتكون من غرفة واحدة تحتوى على بويضة واحدة تخرج من مشيمة قبة . ويعلو المبيض ميسمان ريشيان (شكل ٢٩٨ : ج -) .

الثمرة : برة ، أى جافة غير متفتحة ، وتحتوى على بذرة واحدة تتحد القصرة فيها بغلاف الثمرة ، وتشتمل البذرة على إندوسبرم نشوى وجنين صغير يقع في أحد طرفيها .

النباتات الاقتصادية : تضم هذه الفصيلة عدداً كبيراً من نباتات المحاصيل ، عدا القمح ، وهى :

الشعير : (*Hordeum vulgare*) : وتتميز سنبله الشعير بوجود ثلاث
سنبلات عند كل عقدة ، وقد تكون إحدى السنبلات أو اثنتان منها عقيمة
تبعاً لصنف الشعير ، وتحتوي كل سنبله على زهرة واحدة فقط .
(شكل ٢٩٨)



القانون الزهرى : ١٠٠ : غل ضامرة ط ٢٠٠ :
القصبة الذجيلية ، الفمخ : (أ) سنبله ، (ب) رسم تخطيطى يبين تركيب السنبله ،
(ج) زهرة نزع منها القصبة السفلى ، (د) مقاطع زهرى

الدرة الشامية (Zea mays) : أزهارها وحيدة الجنس ، ويوجد كلا النوعين من الأزهار الذكورية والأنثوية على نفس النبات ، وتنظم الأزهار الذكورية في نورة عنقودية مركبة عند قمة النبات ، بينما توجد النورات الأنثوية على الجزء الأسفل من النبات ، وتخرج من آباط الأوراق .

الدرة العرجية (الرفيعة) (Andropogon sorghum) : تكثر زراعتها في الوجه القبلي ، وتستعمل في تغذية الحيوان ، كما يستعملها بعض الأهالي في عمل الخبز .

الأرز (Oryza sativa) : السنبيلات في الأرز مفلطحة جانبياً ، وتحتوي كل منها على ست أسدية .

قصب السكر (Saccharum officinarum) : يستخرج السكر من سيقانه ، وتراوح نسبته بين ١٠٪ و ١٥٪ من وزن القصب ، ويحضر منه أيضاً المولاس الذي يستغل في صناعة الكحول .

النباتات البرية : وتشمل هذه الفصيلة كثيراً من النباتات البرية منها الدنيبة (Panicum crus galli) ، وهي من الحشائش الهامة التي تزرع لإصلاح الأراضي المحتوية على نسبة عالية من الأملاح ، والتي لا تصلح لزراعة الأرز . ومن النباتات البرية أيضاً النجيل (Cynodon dactylon) والبوص (Phragmites) والغاب الهندي (Bambusa) .

رتبة البرنسيبيات

تشتمل رتبة البرنسيبيات (Principes) على الفصيلة النخيلية (Palmae) فقط . والنباتات التابعة لهذه الرتبة خشبية ، وأزهارها منتظمة في نورات قينوية مغلفة بقينوه أو أكثر كبيرة الحجم . ويتميز غلافها الزهري بترتيبه الثلاثي (Trimerous) ، والمبيض في هذه الرتبة علوي ويتركب من ثلاث كرابل . ويبلغ عدد البويضات في الزهرة الصغيرة ثلاث بويضات ولكن واحدة منها فقط هي التي تكون البذرة . والمثمرة لينة أو حسلية .

الفصيلة النخيلية

تضم الفصيلة النخيلية (Palmae) حوالى ٢٢٠ جنسا و ٤٠٠٠ نوعا ، وتوجد عادة فى المناطق الحارة . ونباتات هذه الفصيلة شجرية ، والساق عادة غير متفرعة ، ولكن فى نخيل الدوم يحدث تفرغ ثنائى الشعب ، وتغلف الساق بقايا أغصان الأوراق القديمة التى سقطت ، وتنتهى بمجموعة من الأوراق كبيرة الحجم تكمل قمة الشجرة ، ولكل ورقة غمد وعنق ، ويكون النصل إما راحياً فى تجزئه أو مركباً ريشياً . وتشمل هذه الفصيلة بعض النباتات الاقتصادية ، من أهمها نخيل البلح (Phoenix dactylifera) .

نخيل البلح :

نخيل البلح شجرة تتركب من ساق طويلة أسطوانية غير متفرعة تنهى بتاج من أوراق كبيرة الحجم مركبة ريشية . ونخيل البلح ثنائى المسكن ، أى أن الأزهار الذكورية والأنثوية توجد على نباتات منفصلة .

النورة : تنشأ النورة عادة فى إبط الورقة ، وهى قينوية ، تتركب من محور غليظ يتفرع إلى عدة فروع تحمل الأزهار الجالسة ، وتغلف النورة جميعها ورقة تسمى القينوة (Spathe) ، تنشق عند نضج النورة فتنبثق منها الفروع التى تحمل الأزهار .

الزهرة : جالسة وحيدة منتظمة .

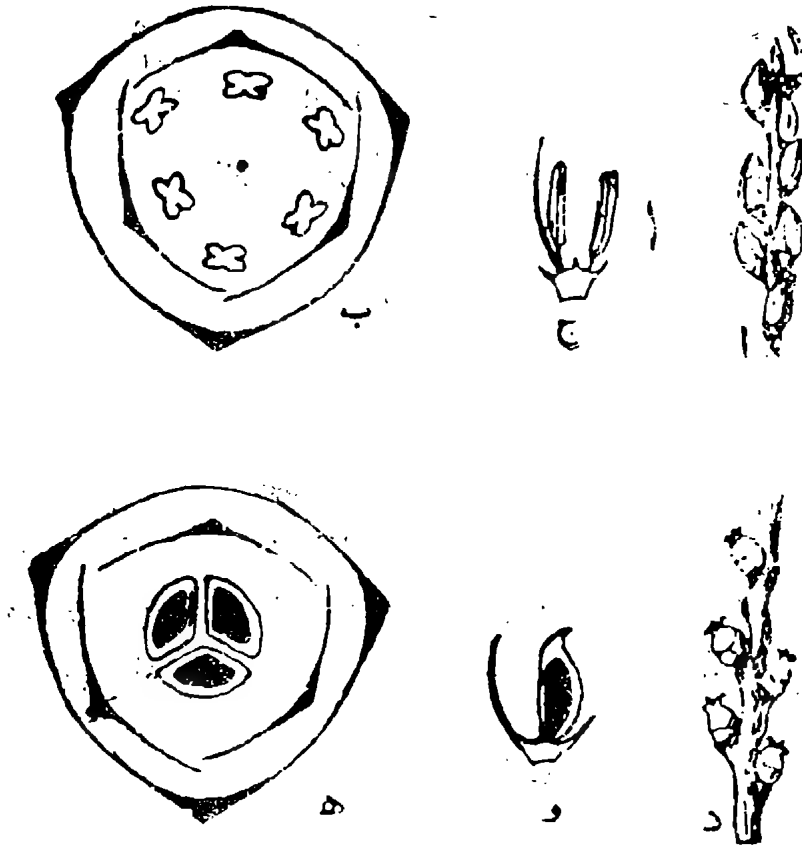
الغلاف الزهوى : يتركب من ست أوراق زهرية - مرتبة فى محيطين - يتركب الخارجى منها من ثلاث أوراق ملتصمة ، والداخلى من ثلاث منفصلة (شكل ٢٩٩ . ب ، هـ) .

الطلع : يتركب الطلع فى الزهرة الذكورية من ست أسدية مرتبة فى محيطين يتكون كل منهما من ثلاث أسدية منفصلة (شكل ٢٩٩ : ب) .

المتاع : يتركب المتاع فى الزهرة الأنثوية من ثلاث كبرابل منفصلة (شكل

٢٩٩ : هـ) في الزهرة حديثة السن ، وتحتوي كل كربة على بويضة واحدة (شكل ٢٩٩ : و) ، وفي الزهرة البالغة تنمو كربة واحدة بينما تحتوي الآخرتان .

الثمرة : لبية ، وتحتوي على بذرة واحدة لها إندوسبرم قرني يشغل معظم حيز البذرة ، بينما يحتل الجنين جزءاً ضئيلاً جداً .
(شكل ٢٩٩)



القائون الرهري

الزهرة الذكورية ⊕ ♂ غل (٣) ٣ ط ٣

الزهرة الأنثوية ⊕ ♀ غل (٣) ٣ ط ٣

التفصيل النضلية ، تحمل الباع : (أ) جزء من الثمرة الذكورية ، (ب) مقطع عرضي للزهرة الذكورية ، (ج) رسم تخطيطي لقطاع طولي مركزي في المستوى الوسطي للزهرة الذكورية ، (د) جزء من الثمرة الأنثوية ، (هـ) مقطع عرضي للزهرة الأنثوية ، (و) رسم تخطيطي لقطاع طولي مركزي في المستوى الوسطي .

ويمكن تقسيم النخيل إلى مجموعتين ، ويتوقف هذا التقسيم على شكل الورقة :

١- نخيل ريشى الأوراق (Feather palms) : وتتبع هذه المجموعة النباتات الآتية : نخيل البلح ونخيل الرخام (*Oreodoxa regia*) ويتميز بجذعه الأبيض ، وجوز الهند (*Cocos nucifera*) .

٢- نخيل مروحي الأوراق (Fan palms) : وتتبع هذه المجموعة نخيل الدوم (*Hyphthaeae thebaica*) ، وهو يزرع في الواحات والوجه القبلى ، ويتميز أشجاره بتفرعها تفرعاً ثنائى الشعب .

رتبة الزنبقيات

تشمل رتبة الزنبقيات (Liliflorae) ثمانى فصائل ، منها الفصيلة الزنبقية (Liliaceae) والفصيلة السوسنية (Iridaceae) . وتتميز هذه الرتبة بغلافها الزهرى غير المميز إلى سبلات وبسات ، كما تتميز أيضاً بمحيطاتها ذات الترتيب الثلاثى (Trimerous) ويتركب الطلع من ثلاث أو ست أسدية ، كما يتكون المتاع من ثلاث كرابل ملتحمة . والبذور فى هذه الرتبة لاندوسبرمية.

الفصيلة الزنبقية

تشمل الفصيلة الزنبقية (Liliaceae) حوالى ٢٥٠ جنساً و ٣٧٠٠ نوعاً منتشرة فى جميع أنحاء العالم ، ومعظم النباتات أعشاب معمرة ذوات أبصال أو درنات أو كورمات . وتحمل أوراقاً تختلف فى وضعها ، فهى إما أن تكون جذرية أو ساقية ، وفى الحالة الأخيرة تكون متبادلة أو محيطية ، والنورة فى هذه الفصيلة عديدة الأنواع .

وتتضم هذه الفصيلة بعض النباتات الاقتصادية ونباتات الزينة ، من بينها نبات الأورنيثوجالم (Ornithogalum) ، ويعرف ببصل الحنش .

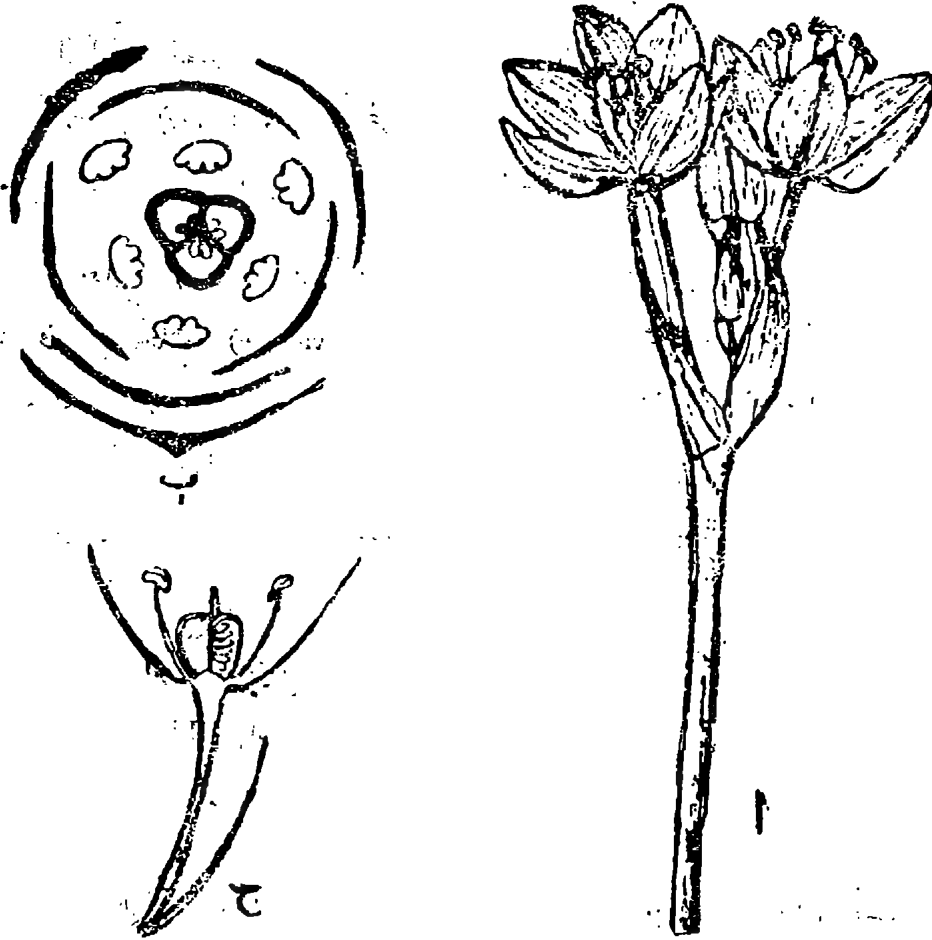
الأورنيثوجالم :

نبات عشبي يعد من نباتات الزينة ، ويحمل أزهاراً بيضاء جميلة ، خنثى ، منتظمة وتحت متاعية .

الغلاف الزهري : يتكون من ست أوراق زهرية مرتبة في محيطين ، يتكون كل محيط من ثلاث أوراق تشبه البتلات (شكل ٣٠٠ : أ ، ب) .

الطلع : يتكون من ست أسدية في محيطين ، بكل منهما ثلاث أسدية منفصلة .

(شكل ٣٠٠)



التكوين الزهري : \oplus ٦ \otimes ٦ غل ٣+٣ ٦ ط ٣+٣ ٦ ٣٠٠

فصيلة الزنبقية ، الأورنيثوجالم : (أ) جزء من فرع زهري ، (ب) مقطع زهري ، (ج) رسم تخطيطي لقطاع طول مركزي في التندوي الوسطى الزهرة .

المتاع : يتركب من ثلاث كرابل متحدة، والمبيض علوى ، ويحتوى على ثلاث غرف ، بكل منها صفان من البويضات ، والوضع المشيمى محورى (شكل ٣٠٠ : ب ، ج) ويعلو المبيض قلم ينهى بثلاثة مياهم .

النباتات الاقتصادية : تضم الفصيلة الزنبقية بعض النباتات التى تستعمل كغذاء مثل البصل (*Allium cepa*) والثوم (*Allium sativum*) والكرات البلدى (*Allium kurrat*) والكرات أبو شوشة (*Allium porrum*) وكشك ألمانظ (*Asparagus officinalis*) ، وجميعها تزرع فى مصر ، وتستخرج الألياف من نبات السانسيغريا (*Sansevieria*) .

النباتات الطبية :

الصبار (*Aloe*) : ويستخرج من عصير الأوراق فى بعض أنواع الصبار جليكوسيد يسمى الصبارين (*Aloin*) يستعمل طبياً كسهل ومقو .

الحلاح (*Colchicum autumnale*) : يستخرج من هذا النبات مادة تعرف بالحلاح (*Colchicine*) يحدث تضاعفاً فى عدد الصبغيات بالنواة . ويصاحب التضاعف الصبغى - نتيجة لمعاملة بعض النباتات بمادة الحلاح - زيادة فى أحجامها أو فى أحجام بعض أجزائها ، كالأوراق والثمار ، وتستغل هذه الظاهرة اقتصادياً لإنتاج سلالات من نباتات تمتاز بكبر أحجامها ووفرة انتاجها .

نباتات الزينة : من بين نباتات الزينة التابعة لهذه الفصيلة السفندر (*Ruscus*) والزنبق (*Lilium*) والسوسن الأصفر (*Hemerocallis*) .

الفصيلة السوسنية

تضم الفصيلة السوسنية (*Iridaceae*) حوالى ٥٨ جنساً و ١٥٠٠ نوعاً منتشرة فى المناطق الحارة والمعتدلة ، والنباتات التابعة لهذه الفصيلة أعشاب ذات درنات أو ريزومات أرضية كاذبة المحور ، وتحمل الفروع الهوائية أوراقاً شريطية ذات تعرق متوازى طولى . ومن بين نباتات الزينة التابعة لهذه الفصيلة نبات السوسن (*Iris*) .

السوسن :

نبات السوسن عشبي له ريزومات غليظة تخرج منها أفرع هوائية تحمل أوراقاً شريطية ، كما تحمل أزهاراً كبيرة الحجم مختلفة الألوان خنثى ، منتظمة وفوق متاعية (شكل ٣٠١) .

الغلاف الزهرى : يتركب من ست أوراق بتلية مرتبة فى محيطين ، بكل منهما ثلاث ورقات . وتتحد الأجزاء السفلى للأوراق الزهرية لتكوين أنبوبة تحتية (Hypanthium) طويلة (شكل ٣٠١ : د) .

الطلع : يتكون من ثلاث أسدية مقابلة لأوراق الغلاف الزهرى الخارجية ولها متوك تنفتح للخارج .

المتاع : سفلى يتركب من ثلاث كرابل متحدة وثلاث غرف ، وتحتوى كل غرفة منها على بويضات عديدة تنتظم فى صفين وتنشأ على مشيمة محورية ، ويتفرع القلم إلى ثلاثة فروع بتلية .

الثمرة : علبة تنفتح انفتاحاً مسكينياً .

النباتات الطبية :

سوسن فلورنتينا (Iris florentina) : يستعمل مسحوق جذوره فى صناعة معجون الأسنان ، كما تستخدم الزيوت المستخرجة منه فى صناعة الروائح العطرية .

نباتات الزينة :

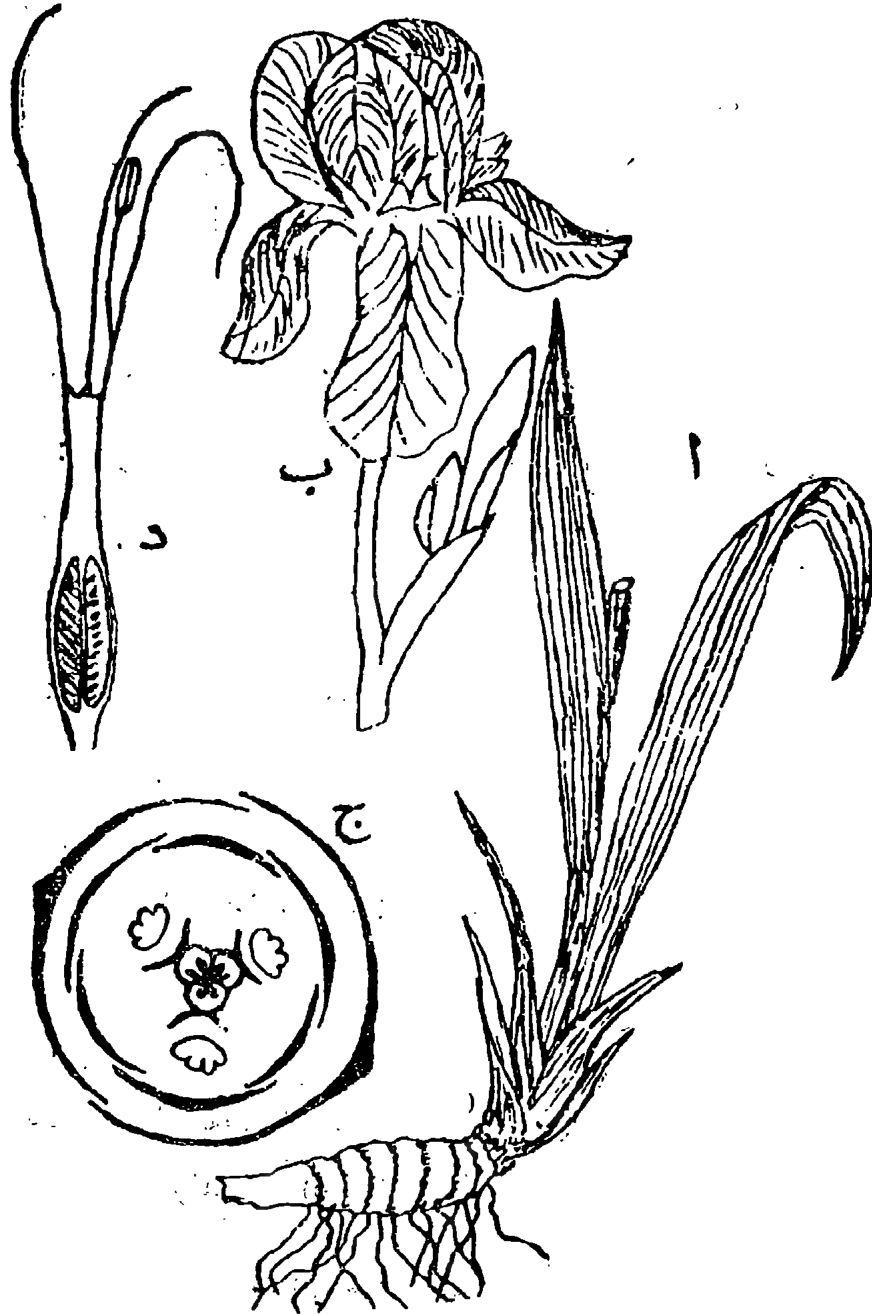
تضم هذه الفصيلة بعض نباتات الزينة التى تزرع بجمهورية مصر العربية ، مثل السوسن والفريزيا (Fresia) والجلادبولس (Gladiolus) .

فصائل ذوات الفلقتين

رتبة الصفصافيات

تشمل رتبة الصفصافيات (Salicales) على فصيلة واحدة ، هى الفصيلة الصفصافية .

(شكل ٣٠١)



الفانين الزهرى : ⊕ ، ♀ ، غلى ٣+٣ ، ط ٣ ، م (٣)

الهيكل السوسنية ، السوسن : (١) جزء من النبات ، (ب) جزء من النورة ، (ج) مسقط زهرى ، (د) رسم تخطيطي لأنطاع ماولى مركزى و المستوى الوسطى للزهرى .

الفصيلة الصفصافية

تضم الفصيلة الصفصافية (Salicaceae) حوالى أربعة أجناس و ٦٥ نوعاً منتشرة في المناطق الحارة وتحت الحارة وفي المنطقة المعتدلة الشمالية ، وتختلف النباتات بين الأشجار والشجيرات ، وتحمل أوراقاً بسيطة وأزهاراً وحيدة الجنس منتظمة في نورات هرية . ومن أهم النباتات التابعة لهذه الفصيلة نبات الصفصاف .

الصفصاف :

الصفصاف (Salix) يعد من الأشجار واسعة الانتشار في جمهورية مصر العربية ، ويوجد على حواف القنوات والترع . ويحمل النبات أوراقاً بسيطة رحيمة الشكل حافها مسننة وأزهاراً وحيدة الجنس ، وتنظم الأزهار الذكورية والأنثوية في نورات هرية (شكل ٣٠٢ : د) ، والزهرة في الصفصاف عارية تخرج من إبط قنابة .

الزهرة الذكورية : تتركب من ثمانى أسدية مرتبة في محيطين ، ويختلف طول الأسدية في المحيطين (شكل ٣٠٢ : ب ، ج) .

الزهرة الأنثوية : المتاع علوى يتركب من كربلتين متحدتين وغرفة واحدة ، كما يحتوى على بويضات عديدة تنظم على مشيمة جدارية (شكل ٣٠٢ : هـ ، و) .

الثمرة : علبة .

وتشتمل الفصيلة على جنسين هامين وهما الصفصاف (Salix) والحوار (Populus) ، ويتميز الصفصاف بأوراقه الرحيمة الضيقة أما الحوار فأوراقه بيضية أو مثثة تقريباً .

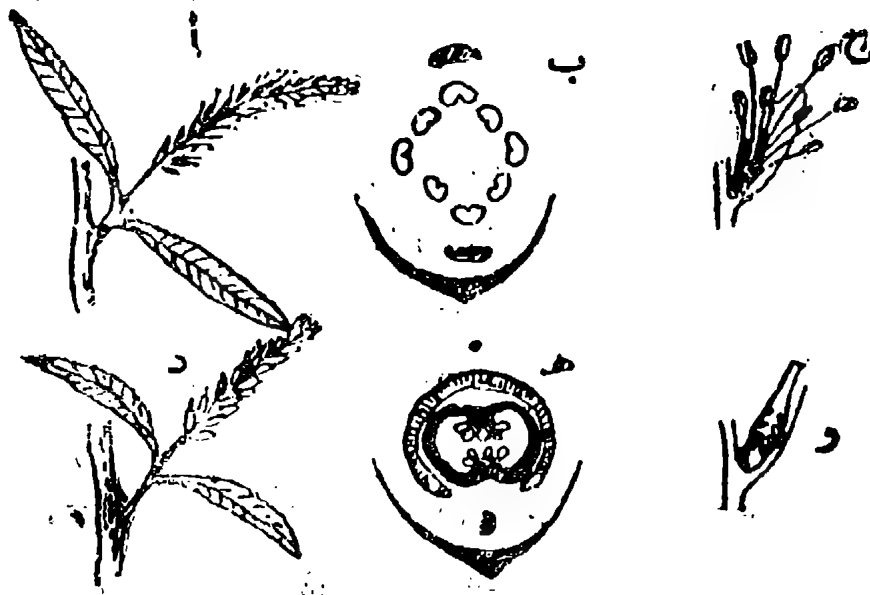
وتوجد عدة أنواع من الصفصاف وهى : الصفصاف الرفيع (Salix safsaf) والصفصاف الكبير (S. tetrasperma) وآم الشعور (S. babylonica) ، ويعتبر خشب الصفصاف من الأخشاب قليلة القيمة .

ويزرع نوعان من الحور في مصر ، وهما الحور الأبيض (*Populus alba*)
والحور البقس (*Populus pyramidalis*) . ويصنع من الخشب المستخرج من
بعض أنواع الحور عيدان الكبريت .

النباتات الطبية :

الصفصاف الأبيض (*Salix alba*) : يستخدم القلف المستخرج من هذا
النبات كمادة قابضة وكسكنات معوية ، ويستعمل الجليكوسيد المعروف
باسم السليسين (*Salicin*) - الذى يستخلص من القلف - فى علاج
الروماتيزم .

(شكل ٣٠٢)



القانون الزهرى : ♂ ، ⊕ ، غل. ، ط. ٨

♀ ، ⊕ ، غل. ، م (٢)

الفصلة الصفصافية ، الصفصاف : (ا) جزء من الساق يحمل نورة ذكورية ، (ب) مسقط
زهرى لزهرة ذكورية ، (ج) زهرة ذكورية (د) جزء من الساق يحمل نورة أنثوية ، (هـ) مسقط
زهرى لزهرة أنثوية ، (و) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المهنوى الوسطى للزهرة

رتبة الحريقيات

تضم رتبة الحريقيات (Urticales) أربع فصائل منها الفصيلة التوتية (Moraceae) . وتتميز هذه الرتبة بمناخها العلوى الذى يتركب من كربلتين وغرفة واحدة محتوية على بويضة واحدة . ويتركب الطلع من أسدية تراوح بين القليلة والعديدة .

الفصيلة التوتية

تضم الفصيلة التوتية (Moraceae) ما يقرب من ٧٣ جنساً وحوالى ١٠٠٠ نوع منتشرة فى المناطق الحارة وتحت الحارة والمعتدلة . وتختلف هذه النباتات فى طبيعتها ما بين أشجار وشجيرات أحادية أو ثنائية المسكن ، كما تتميز عادة باحتواء أنسجتها على لبن نباتي (يتنوع) وتحمل أوراقاً بسيطة مؤذنة . وتضم هذه الفصيلة عدداً من النباتات الاقتصادية ونباتات الزينة ، ومن بين النباتات الهامة نبات التوت (Morus) .

التوت :

نبات شجرى يزرع فى أنحاء كثيرة من جمهورية مصر العربية ، ويحمل أزهاراً وحيدة الجنس ذكورية وأنثوية ، منتظمة وتحت متاعية .
الغلاف الزهرى : يتركب من أربع أوراق سائبة ، مرتبة فى محيطين (شكل ٣٠٣ : ١ ، ج) .

الزهرة الذكورية : تتكون من أربع أسدية تنتظم فى وضع مقابل للأوراق الزهرية .

الزهرة الأنثوية : يتركب المتاع من كربلتين ملتحمتين ، والمبيض ذو مسكن واحد ومحتوية على بويضة واحدة معلقة (شكل ٣٠٣ : د) ، ويعلو المبيض قلمان خيطيان ينتهيان بميسمين .

الثمرة : مركبة تشتمل على عدد من البثقافات التى تتراحم وتلتحم مع بعضها البعض عن طريق أغلفتها الزهرية الغليظة العصرية .

الأثروكاربس المشقوق (*Atrocarpus incisa*) الذى تستخدم ثماره الشحمية الغنية بالنشا فى صناعة الخبز فى المناطق الحارة ، ونبات البروسنيتيا القوطاسى (*Broussonetia papyrifera*) الذى يستغل قلفه الداخلى فى صناعة الورق .

رتبة السنروسيرمات

تشمل رتبة السنروسيرمات (*Centrospermae*) عشرة فصائل من بينها الفصيلة القرنفلية (*Caryophyllaceae*) . وتتميز هذه الرتبة بغلافها الزهرى الذى يتكون من محيطين ، وبمناوعها العلوى الذى يتركب من غرفة واحدة ، وببذورها ذات الجنين المنحنى أو الملتوى .

الفصيلة القرنفلية

تضم الفصيلة القرنفلية (*Caryophyllaceae*) ما يقرب من ٨٠ جنساً و ٧١٠ نوعاً منتشرة فى جميع أنحاء العالم ، وغالبية النباتات عشبية ، وتتميز بوجود عقد منتفخة على الساق ، نتيجة للتفرع الثانى الذى يتكرر عند العقد . وتحمل النباتات أوراقاً بسيطة متقابلة جالسة ، تتصل بالساق بقاعدتها العريضة ، ومن نباتات الزيتة الهامة التابعة لهذه الفصيلة نبات الجيسوفيللا .

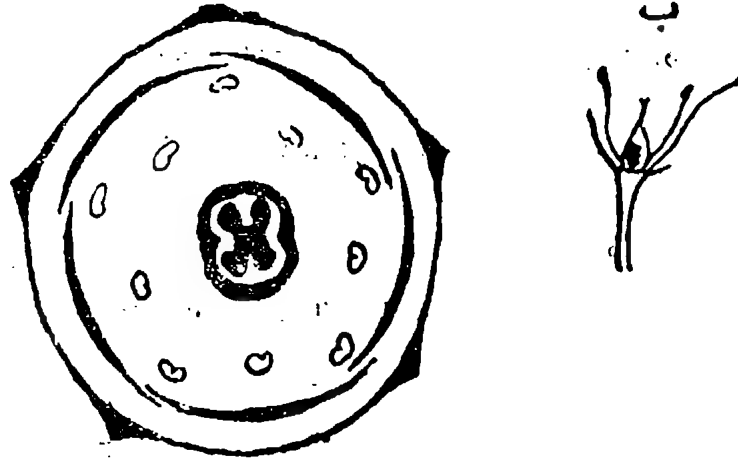
الجيسوفيللا : (*Gypsophila*) نبات عشبي ، يحمل أوراقاً بسيطة جالسة وأزهاراً بيضاء صغيرة الحجم ، تنتظم فى نورات محدودة ثنائية الشعب مركبة ، والزهرة خنثى منتظمة تحت متاعية .

الكأى : تتركب من خمس سبلات ملتحمة .

التويج : يتكون من خمس بتلات منفصلة أو ملتوية التراكيب (شكل ٣٠٤ : ١) .

الطلع : يتركب من عشرة أسدية مرتبة فى محيطين ، بكل منهما خمس أسدية ، وفى المحيط الخارجى تبادىل الأسدية مع البتلات (شكل ٣٠٤ : ١) .

(شكل ٣٠٤)



القانون الزهرى : ♂ ، ♀ ، لك (م) ، ت ه ، ط ه ه ه ، ك (ن)

الفصلية القرصية الجيسوفيل (١) - سطا زهرى . (ب) رسم تخطيطي انقطاع طولى مركزى و المستوى الوسطى للزهرة

المتاع : يتركب الجزء القاعدى من كربلتين محتويان على بويضات عديدة تنتظم على مشيمة محورية ، بينما يتكون الجزء العلوى من المتاع من غرفة واحدة تنتظم فيها البويضات على مشيمة مركزية سائبة ، والمبيض علوى ينتهى بقلم يتفرع إلى ميسمين (شكل ٣٠٤ : ب) .

الثمرة : علبة

ونضم هذه الفصلية بعض نباتات الرينة مثل قرنفل الزهور (Dianthus) والجيسوفيل (Gypsophila) والسيلين (Silene) .

رتبة الريودالات

تشمل رتبة الريودالات (Rhoeadales) على سبع فصائل منها الفصلية الحشخاشية (Papaveraceae) والفصلية الصليبية (Cruciferae) . وتتميز هذه الرتبة ببناتها العشبية وأزهارها الخنثى تحت المتاعية ، ويتميز الغلاف الزهرى والطلع بوضعها الدائرى (Cyclic) على التخت . ويتكون المتاع من كربلتين إلى عدة كربل ملتحمة ، وتنشأ البويضات فيها على مشيمة جدارية .

الفصيلة الحشخاشية

تشتمل الفصيلة الحشخاشية (Papaveraceae) على ما يقرب من ٢٨ جنساً و ٦٠ نوعاً منتشرة في المناطق تحت الحارة والمعتدلة الشمالية ، وتتميز غالبية النباتات التابعة لهذه الفصيلة بوجود الأنايب اللبية « البتوية » ، وتحمل أوراقاً جالسة غير مؤذنة لها حافة مسنة أو منفصلة . وتوجد الأزهار إما منفردة أو تنتظم في نورات عنقودية أو محدودة ثنائية الشعب . وتضم هذه الفصيلة عدداً من النباتات الهامة ترجع أهميتها للناحية الطبية والزينة ، ومن بين هذه النباتات الحشخاش .

الحشخاش :

الحشخاش (Papaver rhoeas) نبات عشبي يحمل أزهاراً كبيرة الحجم نسبياً ، وتتدلى البراعم الزهرية متجهة إلى أسفل ، والزهرة منتظمة ، خنثى تحت متاعيه .

الكأاس : تتركب من سبطين سائبين تسقطان ميكراً .

التويج : يتكون من أربع بتلات سائبة تنتظم في محيطين ، يتركب كل منهما من اثنتين ، وفي البرعم الزهرى تبدو البتلات مجمدة .

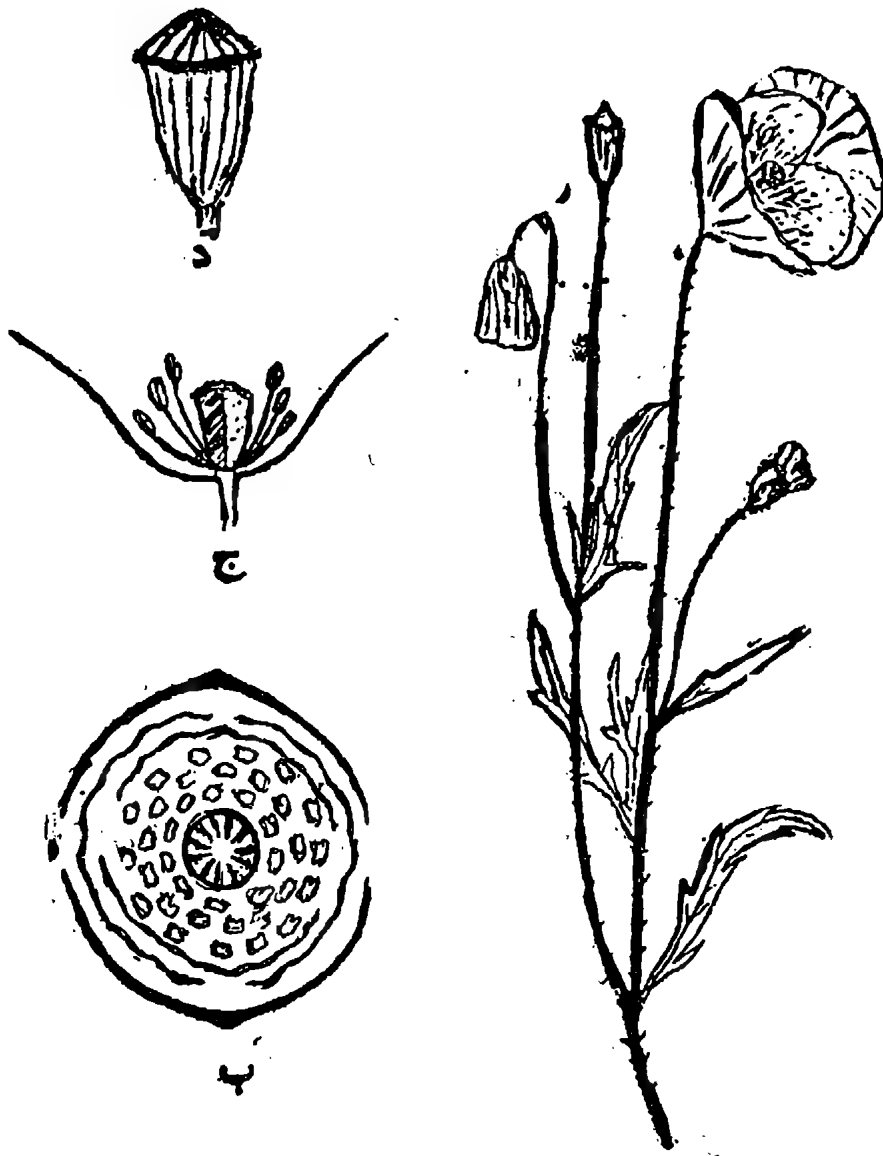
الطلع : يتكون من أسدية عديدة تنتظم في عدة محيطات .

المتاع : يتركب من كرابل عديدة ومسكن واحد يحوى عدداً كبيراً من البويضات ، التي تنشأ على مشيمات تبرز من جدار المبيض متجهة نحو المركز (شكل ٣٠٥) . ولذلك يعتبر الوضع المشيمي جدارياً ، ويتساوى عدد المياسم مع عدد الكرابل .

الثمرة : علبة تفتح بالثقوب .

ويشيع هذه الفصيلة نبات أفي النوم (Papaver somniferum) ، وهو من أهم النباتات الطبية ، إذ يستخرج الأفيون منه عن طريق تجفيف اللبن « البتوي » الذي يستزف عند تشريط الثمار غير الناضجة .

(شكل ٣٠٥)



اللمبة المنطوقة ، المنطوق : (١) من النبات ، (ب) مقطع عرضي ، (ج) وسم تقطع لفم طول موكزي و المنوي الوسطى الزهرة : (د) الثمرة

الفصيلة الصليبية

تضم الفصيلة الصليبية (Cruciferae) ما يقرب من ٣٥٠ جنساً و ٢٥٠٠ نوعاً ، منتشرة في جميع أنحاء العالم . ويكثر انتشارها في المنطقة المعتدلة الشمالية ، وخاصة في إقليم البحر الأبيض المتوسط . وغالبية النباتات معمرة

وبعضها حولي ، ومعظمها عشبية ، ويندر وجود نحت الشجيرات ، ويتبع هذه الفصيلة عدد من النباتات الاقتصادية وبعض نباتات الزينة ، ومن بينها المنثور (*Matthiola incana*) .

المنثور :

هذا النبات عشبي حولي ، ومماقه صلبة مستديرة المقطع ، تحمل أوراقاً متقابلة الوضع . عدسة الأذينات ، وشكلها بيضاوي ، وسطحها وبرى .

النورة : الأزهار مرتبة في نوره عنقودية (شكل ٣٠٦ : أ) عند نهاية الساق ، وتباين ألوانها ، فهنا الأبيض الوردى والأحمر القرمزي .

الزهرة : لها عنق طويل ، وهي منتظمة خنثى ونحت متاعية .

الكأس : تتركب من أربع سبلات منفصلة مرتبة في محطين (شكل ٣٠٦ : ج) ، أحدهما خارجي يتكون من السبلتين الجانبيتين ، والآخر داخلي يتكون من السبلتين الوسطيتين ، ويوجد عند قاعدة كل من السبلتين الجانبيتين انتفاخ يتجمع فيه الرحيق .

التويج : يتكون من أربع بتلات منفصلة ، ومرتبة على محورين متعامدين على شكل صليب ، ومن هنا اشتق اسم الفصيلة . وكل بتلة تتركب من جزء مستطيل يشبه الخلب ينتهي بجزء مفلطح مستدير (شكل ٣٠٦ : ب) .

الطامع : يتركب من ست أسدية في محيط ، والمحيط الخارجى يتكون من سداتين قصيرتين جانبيتين ، والداخلي يتركب من أربع أسدية طويلة مقابلة لأطراف البتلات ، إثنان منها في الجهة الأمامية ، والاخرتان في الجهة الخلفية البعيدة عن المحور ، كما في (شكل ٣٠٦ : ج) .

المتاع : يتركب من كرتلتين متحدتين عند الحافة حيث توجد المشيمة وتتصل به البويضات ، وبذلك يكون الوضع المشيمى جدارياً ، ويمتد نصيب من وسط كل من المشيمتين داخل تجويف المبيض ، ويلتقى الفسيجان ويلتحمان ليكونا حاجزا يقسم المبيض إلى غرفتين ، ويعرف بالحاجز

وهناك نوعان من الخردل : أحدهما الخردل الأسود (*Brassica nigra*) وتستخدم أوراقه في السلاطة ، كما يستخرج من بذوره مسحوق أصفر يعرف بالمسردة ، وهي إحدى التوابل الهامة التي تضاف إلى الطعام ، وتستخدم أيضاً لأغراض طبية ، والنوع الآخر هو الخردل الأبيض (*Brassica alba*) ، وتستخدم أوراقه أيضاً في السلاطة ، كما يستخرج من بذوره زيت يستخدم في صناعة الصابون والإضاءة .

ويتبع هذه الفصيلة بعض نباتات الزينة مثل المنشور والإبريس (*Iberis*) ، ومعظم نباتات هذه الفصيلة غنية بمركبات الكبريت .

رتبة الورديات

تضم رتبة الورديات (*Rosales*) ١٦ فصيلة ، منها الفصيلة الوردية (*Rosaceae*) ، وتتميز هذه الرتبة بأزهارها الدائرية (*Cyclic*) وترتيبها الخماسي (*Pentamerous*) ، وتكون عادة محيطة المتاعية ونادراً ما تكون تحت أو فوق متاعية ، وفيها تنتظم الأسدية في محيطات عديدة . ويتربك المتاع من كرايل متحدة أو منفصلة ذات أقلام سائبة .

الفصيلة الوردية

تشمل الفصيلة الوردية (*Rosaceae*) حوالي ١١٥ جنساً و ٣٢٠٠ نوعاً منتشرة في جميع أنحاء العالم ، وهي إما أن تكون أشجاراً أو شجيرات أو أعشاباً ، وتحمل أوراقاً متبادلة الوضع ، وهي عادة بسيطة أو مركبة ، ولها أذينات تكون متحدة مع العنق ، والنورة عديدة الأنواع ، فمنها المحدودة وغير المحدودة .

ويمكن تقسيم النباتات التابعة لهذه الفصيلة إلى ستة أقسام أو تحت فصائل (*Subfamilies*) - تختلف فيما بينها في بعض الصفات ، وتضم ثلاثة من هذه الأقسام عدداً غير قليل من النباتات المصرية ، ويمكن تمييزها على النحو الآتي :

١ - نباتات ذات مبيض سفلى يتركب من ٤ إلى ٥ كرابل ، ويلتحم التخت غالباً مع جدار المبيض ، كما في تحت الفصيلة التفاحية (Pomoideae) ،

٢ - نباتات ذات مبيض غير سفلى :

(أ) المتاع يتركب من كربة واحدة فقط ، والثمرة إما حسلية أولية ، كما في تحت الفصيلة البرقوقية (Prunoideae) .

(ب) المتاع يتركب من كرابل عديدة منفصلة ، مثل الورد ، كما في تحت الفصيلة الوردية (Rosoideae) .

الورد :

نبات الورد (*Rosa involucrata*) شجيرة تظهر على ساقها أشواك سطحية الأصل ، وتحمل أوراقا متبادلة ومركبة ريشية ، وعند قاعدة الورقة توجد أذيتان تتحدان معها (شكل ٣٠٧ : أ) .

الزهرة : إما أن تكون وحيدة عند نهاية الفروع أو توجد في نورات محدودة صغيرة ، وهي منتظمة خنثى ومحيطة المتاعية .

الكأس : يتركب من خمس سبلات متحدة عند القاعدة .

التويج : يتركب من خمس بتلات منفصلة (شكل ٣٠٧ : ب) .

الطلع : عدد الأسدية غير محدود ، وهي منفصلة ، وتكون منحنية للداخل في البرعم الزهري .

المتاع : يتركب من كرابل عديدة منفصلة ، وموزعة على السطح الداخلي للتخت المحوف (شكل ٣٠٧ : ج) ، والوضع المشيمي جداري ، ويساوي عدد الأقدام والمياسم مع عدد الكرابل .

الثمرة : مجموعة فقيرات منفصلة .

النباتات الاقتصادية :

تحت الفصيلة التفاحية (Pomoideae) : تشمل نباتات الكثرى (*Pyrus communis*) والتفاح (*Pyrus malus*) والبشملة (*Eriobotrya japonica*) -

في صنع الروائح العطرية ، وطريقة استخلاص هذا الزيت تكون بتقطير الأزهار الطازجة .

رتبة القرنيات

تعد رتبة القرنيات (Leguminales) من أكبر الرتب النباتية ، وهي منتشرة في جميع أنحاء العالم ، وتشمل حوالي ٦٠٠ جنساً و ١٢٠٠٠ نوعاً ، ونباتها إما أشجار وإما شجيرات وإما أعشاب ، وتحمل أوراقاً متبادلة ، غالباً ما تكون مركبة ، ولها أذينات تتباين في أحجامها ، والنورة عادة غير محدودة ، وفي بعض الأحيان تنشأ الأزهار منفردة .

وتنقسم الرتبة إلى ثلاث فصائل ، يمكن تمييزها على النحو الآتي :

١- أزهار منتظمة ، والسبلات والبتلات أطرافها متقابلة في البرعم :
الفصيلة الطلحية (Mimosaceae) .

٢- أزهار وحيدة التناظر ، والبتلات والسبلات متراكبة في البرعم :
(أ) التراكب في البتلات تصاعدي ، أي أن البتلة الخلفية داخلية ، وجميع البتلات منفصلة وعددها خمس : الفصيلة البقمية (Caesalpinaceae) .

(ب) التراكب في البتلات تنازلي ، أي أن البتلة الخلفية خارجية ، والبتلتين الأماميتين متحدتان وتشبهان القارب : الفصيلة القراشية (Papilionaceae) .

الفصيلة القراشية

تعتبر الفصيلة القراشية أكثر فصائل رتبة القرنيات انتشاراً وأنواعاً ، وتضم عدداً كبيراً من النباتات الاقتصادية وبعض نباتات الزينة مثل بسلة الزهور (Lathyrus odoratus) ، وأغلب النباتات عشبية ، والأزهار إما أن تكون وحيدة أو مرتبة على حامل طويل في نورة غير محدودة .

بسلة الزهور :

هذا النبات عشبي مصلق ، وهو من نباتات الزيت الهامة ، وله مذاق

خضراء مضلعة تحمل أوراقاً مركبة ريشية لها أذينات كبيرة ، وتتحور بعض الوريقات الطرفية إلى معاليق لتسلق ، والنورة عنقودية .

الزهرة : خنثى وحيدة التناظر ، ومحيطه المتاعية تقريباً .

الكأس : تتركب من خمس سبلات متحدة بالقرب من القاعدة .

التويج : يتكون من خمس بتلات مميزة إلى بتلة خلفية مستديرة تعرف بالعلم (Standard) ، وبتلتين جانبيتين تعرفان بالجناسحين (Wings) ، وبتلتين أماميتين متحدتين تكوينان الزورق (Keel) الذى يضم أعضاء التذكير والتأنث (شكل ٣٠٨ : أ ، ج) .

الطلع : يتركب من عشرة أسدية فى محيطين ، وتبادل الأسدية الخمس فى المحيط الخارجى مع البتلات ، وتتحد جميع الأسدية - عدا السداة الخلفية - وتتكون نتيجة لاتحادها أنبوبة سدائية تحيط بالمبيض وتغلقة (شكل ٣٠٨ : ب ، د) . وجميع نباتات الفصيلة الفراشية لها هذه الخاصية فيما عدا الترمس ، إذ تتحد فيه جميع الأسدية مكونة أنبوبة سدائية مغلقة .

المتاع : يتركب من كربة واحدة ذات مبيض ضيق مفلطح من الجانبين ومنحنى ، ويتكون من كربة واحدة والوضع المشيمى جدارى ، حيث تنتظم البويضات فى صفين متقابلين على الطراز البطنى (Ventral suture) للكربة والقلم طويل ومنحنى للداخل وملاصق للزورق .

الثمرة : قرنية (بقلاء) .

النباتات الاقتصادية : يتبع الفصيلة الفراشية كثير من نباتات المحاصيل

وهى : الفول (Vicia faba) والعدس (Lens esculentus) والبازلا (Pisum

sativum) ، والحلبة (Trigonells foenum graecum) والحمص (Cicer arie-

tinum) ، والفاصوليا (Phaseolus vulgaris) ، واللوبيا (Vigna sinensis)

والبرسيم المسقاوى (Trifolium alexandrinum) والفول السودانى (Arachis

hypogaea) . والبرسيم الحجازى (Medicago sativa) والترمس (Lupinus

termis)

وتتبع الفصيلة بعض النباتات الأخرى التي تستغل في بعض النواحي الطبية والاقتصادية ومنها :

العرقسوس (*Glycyrrhiza glabra*) : وتستعمل جسنوره وريزوماته كملين . فول الصويا (*Glycine hispida*) : نحتوى بذوره على حوالى ٥٪ نشا ومن ٤٠ إلى ٤٨٪ مواد بروتينية ، ولذلك يعد غذاء مناسباً لمرضى البول السكرى ، ويستخرج من بذوره زيت عظيم القيمة ، يستعمل فى الطعام على نطاق واسع ، وخاصة فى عمل المسلى الصناعى (Margarine) ، كما يدخل أيضاً فى صناعة الشمع والصابون ومواد الطلاء والتشحم والمبيدات الحشرية وغيرها .

الهياتوكسيلون (*Haematoxylon campechianum*) : ويستخرج من خشبه مادة الهياتوكسيلون التى تستعمل فى الصباغة ، وكذلك تزرع أشجاره كسياج حول الحدائق .

الفصيلة البقية

نباتاتها أشجار أو شجيرات ، تحمل أوراقاً مركبة ريشية لها أذينات ، والنورة عادة عنقودية . وتضم الفصيلة البقية بعض النباتات الاقتصادية ونباتات الزينة ومنها البوانسيانا (*Poinciana regia*) .

البوانسيانا :

تزرع أشجار البوانسيانا بكثرة فى شوارع القاهرة وغيرها من المدن ، وذلك للزينة والتظليل ، وتساقط الأوراق فى الشتاء ، وهى مركبة ريشية متضاعفة ، وفى وقت الإزهار يغلب اللون الأحمر البرتقالى للأزهار على اللون الأخضر للأوراق . وتبدو الأشجار فى منظر جذاب يلفت الأنظار .

الزهرة : خنثى وجيدة التناظر محيطه المتاعية .

الكأس : يتركب من خمس سبلات منفصلة .

التويج : يتكون من خمس بتلات منفصلة ، ومتراكبة تراكباً تصاعدياً

(شكل ٣٠٩ : ب) .

الثمرة : قرنية (بقلاء) تحتوى على عدة بذور .

ويتبع الفصيلة البقية نبات الخروب (Ceratonia siliqua) والتمر هندي (Tamarindus indica) ، وبعض نباتات الزينة مثل البوهينيا (Bauhinia) والبقم (Cecsalpinia) .

ومن النباتات الطبية السنامكى ، وتشمل أنواعا عديدة منها السنامكى الحجازى (Caesia acutifolia) والسنامكى الهندى (Cassia angustifolia) وتستعمل بذورها وأوراقها طبيا كمسهل ، والخيار شبر (Cassia fistula) وتستعمل ثمارها لنفس الغرض .

الفصيلة الطلحية

يكثُر انتشار نباتات الفصيلة الطلحية في المناطق الحارة ، ومعظمها أشجار أو شجيرات تحمل أوراقا مركبة ريشية ، وعادة يكون لها أذينات تنحور في بعض النباتات إلى أشواك كما في السنط (Acacia) .

السنط :

نحمل أشجار السنط أوراقا مركبة ريشية متضاعفة (شكل ٣١٠ : أ) ، لها أذينات متحورة إلى أشواك . وتنظم الأزهار في نورات غير محدودة على شمراخ كروى (شكل ٣١٠ : ب) ، والزهرة دقيقة الحجم خنثى منتظمة تحت متاعية أو محيطة المتاعية .

الكأس : تتركب من خمس سبلات ملتحمة ، أطرافها متقابلة (شكل ٣١٠ : د) ويندر وجود أربع سبلات .

التويج : يتكون من خمس بتلات دقيقة ، أطرافها متقابلة ، وأحيانا تتحد عند القاعدة ، ونادراً ما يتكون التويج من أربع بتلات .

الطلع : يتركب غالباً من أسدية عديدة منفصلة لها خيوط طويلة (شكل ٣١٠ : ج) ، وفي بعض النباتات يتساوى عدد الأسدية مع عدد البتلات أو يكون ضعفها .

القنّاد (Acacia senegal) : ويستخرج منه الصمغ بعمل شقوق في الجذع .

الفتنة (Acacia farnesiana) : وتستخرج من أزهارها زيوت عطرية

اللبخ (Albizzia lebbek) : كانت أشجاره تزرع بكثرة فيما مضى . للاستغلال ولاستغلال خشبها ، ولكن نظراً لإصابتها بآفة حشرية قلت زراعتها في الوقت الحاضر .

رتبة الجارونيات

تشتمل رتبة الجارونيات (Geraniales) على ٢١ فصيلة ، منها الفصيلة الجيرونية (Geraniaceae) والفصيلة السذابية (Rutaceae) . وتتميز هذه الرتبة بأسديتها التي تبلغ في عددها عدد السبلات وبانتظامها في محيطين ، وفي بعض الأحيان ينعدم المحيط الخارجي . ويتركب المتاع من كرابل ملتحمة تعلوها أقلام مستديمة . والبكرة في هذه الرتبة إندوسبرمية .

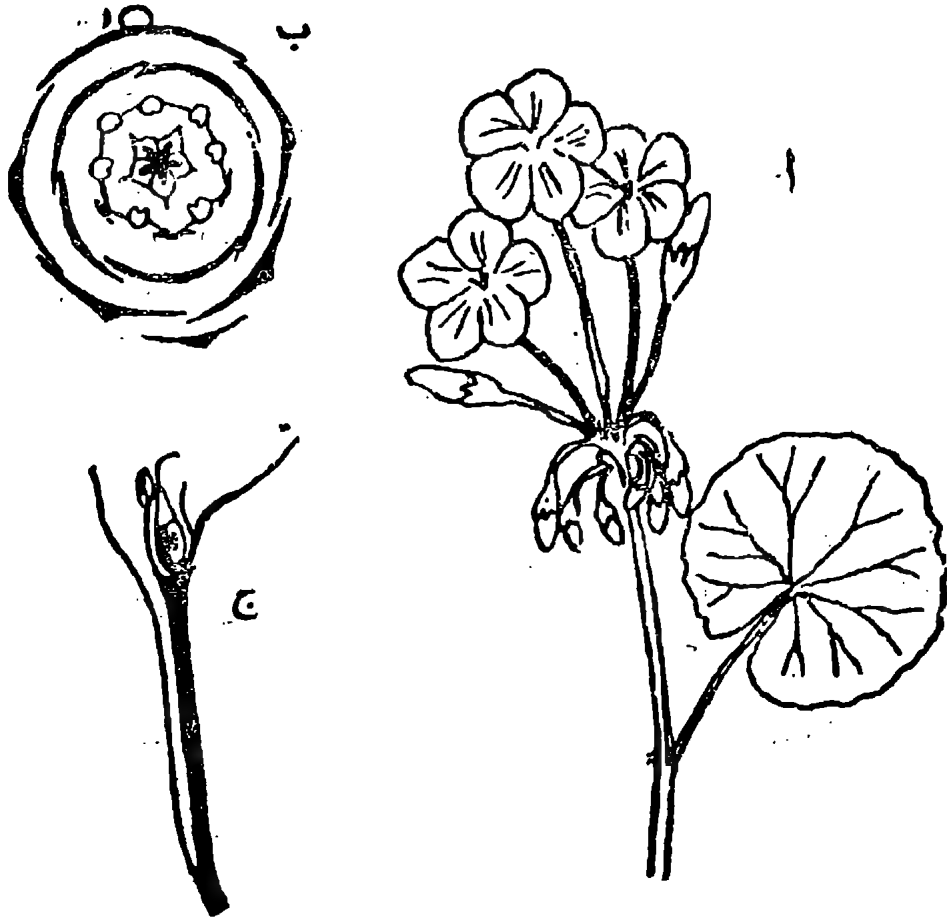
الفصيلة الجيرونية

تضم الفصيلة الجيرونية (Geraniaceae) ما يقرب من ١١ جنساً ، ٨٥٠ نوعاً منتشرة في جميع أنحاء العالم ، وغالبية النباتات التابعة لهذه الفصيلة عشبية ذات سيقان غضة تغطي سطحها شعيرات ، ومن نباتات الزينة الشائعة نبات الجيرونية .

الجيرونية

نبات الجيرونية (Pelargonium zonale) عشبي ، يحمل أوراقاً بسيطة نصلها قرصي الشكل . ويحمل النبات نورات شبيهة بالنورة المحدودة عديدة الشعب (شكل ٣١١ : ١) والزهرة خنثى وحيدة للتناظر وتحت متاعية . الكأس : تتركب من خمس سبلات سائبة مستديمة ، وتمتد السبلات الخلفية إلى أسفل بمحاذاة العنق مكونة أنبوبة ضيقة (شكل ٣١١ : ج) . التويج : يتكون من خمس بتلات منفصلة ومتراكبة .

(شكل ٣١١)



القانون الزهري : ١٠ ، ٩ ، ٨ ، ٧ ، ٦ ، ٥ ، ٤ ، ٣ ، ٢ ، ١ (٥)

المصيلة المبرونة ، المبرونة : (١) جزء من النبات يحمل أزهاراً ، (٢) مسقط
زهري ، (٣) رسم بخطاطم انطباع طول مركزي في المستوى الوسطى للزهرة ،

الطلع : يتكون أصلاً من عشرة أسدية اختزلت الثلاث الأمامية منها إلى
أحراشيف (شكل ٣١١ : ب) وتوجد الأسدية في محيطين متبادلين ، وتقع
الأسدية في المحيط الخارجي مقابلة للبلاث (Obdiplostemonous)

المتاع : يتكون من خمس كرابل متحدة وخمس غرف بكل منها بويضة
تنشأ على مشيمة محورية ، ويعلو المبيض قلم طويل على هيئة منقار ينتهي
بخمسة مياشم
الثمرة : منشقة :

نباتات الزينة :

العر (Pelargonium graveolens) : نبات عشبي ذو رائحة زكية ،
وتستخرج بعض الريبوت الطيارة منه ومن غيره من الأنواع .
وتضم الفصيلة بعض النباتات البرية التي تنمو بالمناطق الصحراوية
والمناطق النباتية الأخرى ، مثل الجيرانيوم (Geranium) والدهمة (Erodium)
والمنسونيا (Mensonia) .

الفصيلة السذابية

تضم الفصيلة السذابية (Rutaceae) ، يقرب من ١٤٠ جنساً و ١٣٠٠
نوعاً منتشرة في المناطق الحارة والمعتدلة . وتختلف النباتات بين الشجيرات
والأشجار ، وتتميز بوجود غدد على هيئة نقط تعزى إليها الرائحة القوية التي
تنبعث من النباتات ، وتحمل النباتات أوراقاً متبادلة أو متقابلة عديمة الأذينات
مركبة عامة . وفي بعض النباتات تتحول الأوراق إلى أشواك . ومن بين
النباتات الهامة التابعة لهذه الفصيلة الموالح ، طلم اللسوم والنارنج والبرتقال
واليوسفي .

البرتقال :

البرتقال (Citrus sinensis) نبات شجري يحمل أوراقاً ذات نصل
بسيط وعنق مجنح ، بينهما مفصل صغير ، ويعتبر الكثيرون وجود تلك العقلة
دليلاً على أن أوراق الموالح هي في حقيقة أمرها أوراقاً مركبة ريشية فردية ،
ذات ثلاث وريقات ، قد نمت فيها الوريقة الطرفية نمواً طبيعياً بينما ضمرت
الوريقتان الأخرتان وتحورتا إلى جناحين في قمة العنق . وتحمل النبات أزهاراً
بيضاء ذات رائحة ذكية مميزة ، وهي خنثى منتظمة تحت متاعية (شكل
٣١٢ : أ) .

الكأس : تتركب من خمس سبلات ملتصقة (في بعض النباتات الأخرى
تتكون من أربع سبلات) .

الثمرة : لينة في البرتقال ، ولكنها في النباتات الأخرى قد تكون منشقة أو حسلية أو علبة .

النباتات الاقتصادية : تضم هذه الفصيلة عدداً من النباتات الاقتصادية التي تؤكل ثمارها وتستخرج منها بعض الزيوت الطيارة مثل البرتقال واليوسفي (*Citrus reticulata*) والليمون البسلي (*Citrus aurantifolia*) والليمون الأضاليا (*Citrus limon*) والناونج (*Citrus aurantium*) .

النباتات الطبية :

باروزما بتولينا (*Barosma betulina*) : وتستخدم أوراقه لإدرار البول في الأمراض المتعلقة بالأجهزة البولية .

بيلوكاربس الصغير الأوراق (*Pilocarpus microphyllus*) : يستخدم العقار المستخرج من الأوراق في علاج أمراض الكلى ، كما يستعمل كمدر لللعاب ومقيء ، ويستخدم أحد مكونات هذا العقار - وهو البيلوكاربين - في تضيق إنسان العين ، وهو بذلك يعتبر مضاداً لفعل الأتروبين .

الليمون الأضاليا : تستخدم الزيوت الطيارة المستخرجة من غلاف الثمرة الطازج في تحضير المواد العطرية ، كما أنها تكسب الطعام نكهة .

رتبة الخبازيات

تضم رتبة الخبازيات (*Malvales*) ثمانى فصائل ، منها الفصيلة الخبازية (*Malvaceae*) ، وتتميز نباتاتها بسطحها الشعري وباحتوائها على مواد غطائية في أنسجتها . والأزهار في هذه الرتبة خنثى منتظمة ، وكثيراً ما يكون ترتيب الغلاف الزهري خماسياً (*Pentamerous*) . وتتركب الكأس من خمس سبلات مصراعية ، كما يتكون الطلع من أسدية عديدة ، ويتكون المتاع من كرابل عديدة تنتظم فيها البويضات على مشيمة محورية

الفصيلة الحجازية

وتضم الفصيلة الحجازية (Malvaceae) حوالى ٨٢ جنساً و ١٥٠٠ نوعاً ،
يكثُر انتشارها في المناطق الحارة والمعتدلة . وتختلف النباتات فيما بينها ، فيها
الأعشاب والشجيرات والأشجار . والأوراق متبادلة ، ولها أذينات تسقط
مبكرة في معظم النباتات ، وهي إما بسيطة كاملة أو مفصصة ، والتعرق
راحي .

ومن أهم الصفات التي تتميز بها هذه الفصيلة عصيرها المخاطي ، وهي
تشمل بعض النباتات الاقتصادية وأهمها القطن ، كما تضم أيضاً بعض نباتات
الزينة مثل الخطمية (Althaea rosa) .

الخطمية :

الخطمية نبات شجيري من نباتات الزينة الهامة ، ويحمل أزهاراً تختلف
ألوانها بين الأبيض والأحمر ، وهي خنثى منتظمة .

الكأس : توجد مجموعة من العنبيات في محيط يقع خارج الكأس ،
يعرف بفوق الكأس (Epicalyx) - (شكل ٣١٣ : ٢) - ويتركب الكأس
من خمس بتلات أطرافها متقابلة ومتحدة عند القاعدة .

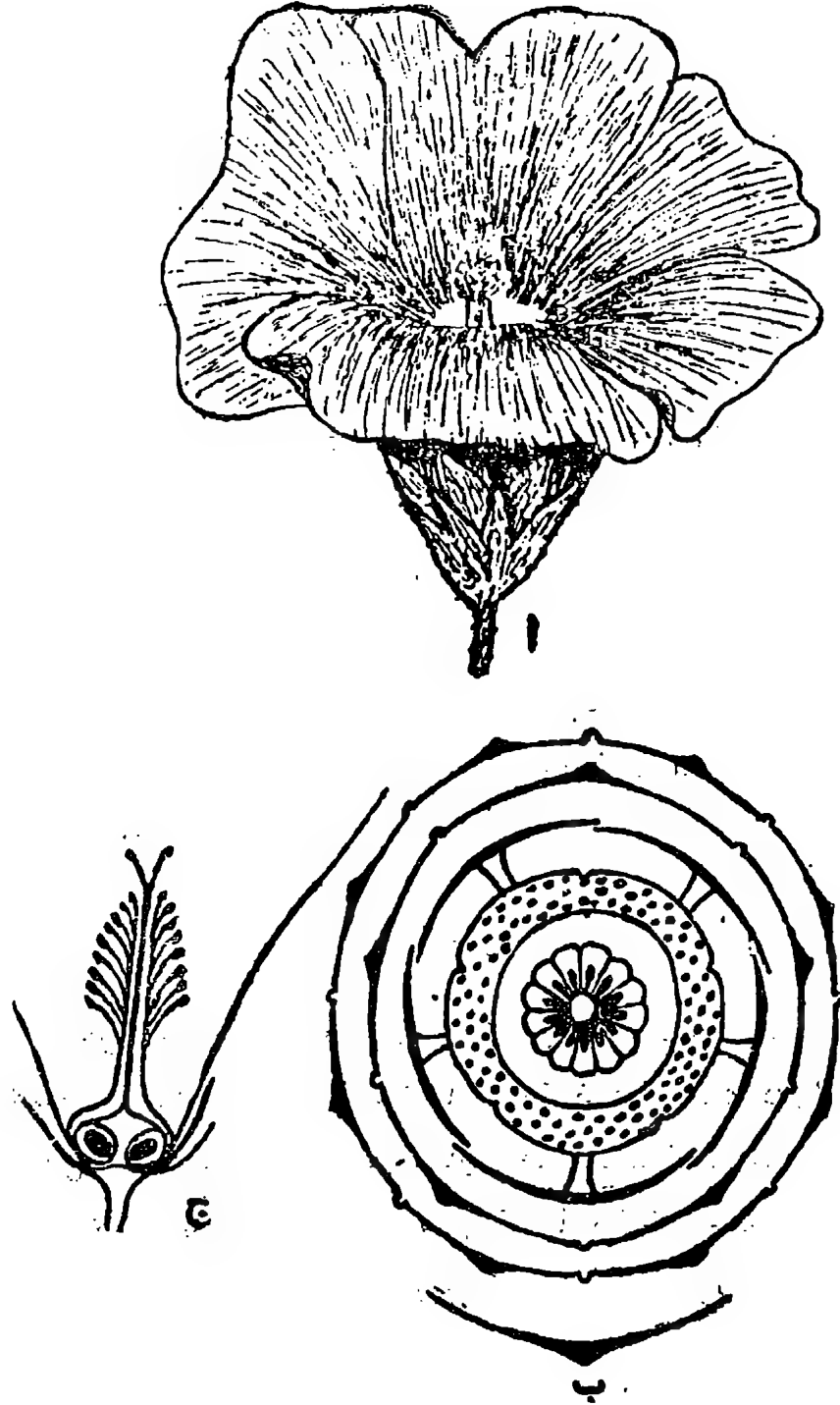
التويج : يتكون من خمس بتلات منفصلة ، ملتفة التراكب وتتحده مع
الأسدية (شكل ٣١٣ : ب) .

الطلع : الأسدية عديدة وتتحد مكونة أنبوبة سدائية (شكل ٣١٣ : ج)
تخرج منها خيوط رفيعة يحمل كل منها متكاً ، ويتكون من فص واحد ،
ويحوى حبوب لقاح شوكية السطح .

المتاع : يتركب من عدة كرابل ملتحمة وعدد مساوٍ من الغرف ،
والبيض علوى ، والوضع المسمى مخورى (شكل ٣١٣ : ب) وفي كل
غرفة توجد بويضة واحدة . أما الأقدام فتحدة ، ويساوى عدد المياضم مع
عدد الكرابل .

الثمرة : منشقة .

(شكل ٣١٣)



الفصيلة الخبازية ، الخطمية : (أ) منظر خارجي للزهرة ، (ب)
سقط زهري ، (ج) رسم تخطيطي لقطاع طولي مركزي في المستوى
لوسطي للزهرة .

النباتات الاقتصادية :

القطن (Gossypium) : وهو من أهم النباتات الاقتصادية في مصر ، ويعتبر شعر القطن امتدادات لخلايا الطبقة الخارجية للقصرة ، ويعرف تجارياً باسم التيلة ، ويختلف طول التيلة ونعومتها في الأصناف والسلالات المختلفة ، ويستخرج الزيت من البذور بعد عصرها ، أما ما يتبقى بعد العصر فيعرف بالكسب ، ويستعمل كعلف للماشية .

التيل (Hibiscus cannabinus) : وتستخرج الألياف منه ، وتستخدم في صناعة بعض أنواع المنسوجات والحبال .

البامية (Hibiscus esculentus) : تطهى ثمارها ، وتستعمل غذاء للإنسان .

الخبيزة أو الخبازي (Malva sylvestris) : تطهى أوراقها ، وتستعمل غذاء للإنسان .

من نباتات الزينة التابعة لهذه الفصيلة نبات الميسكوس ذو الأزهار الحمراء القطيفية (*Hibiscus rosa sinensis*) ونبات الأبوتيلون (*Abutilon sinensis*) وأزهاره حمراء جميلة أيضاً .

رتبة الجداريات

تشتمل رتبة الجداريات (*Parietales*) على ٣١ فصيلة ، منها الفصيلة البنفسجية (*Violaceae*) . وتتميز هذه الرتبة بغلافها الزهري ذي الترتيب الخماسي والسبلات المتراكبة . ويتساوى عدد الأسدية مع عدد السبلات أو يزيد عليها . ويتكون المتاع من ثلاث كرابل وغرفة واحدة تحتوي على بويضات عديدة تنشأ على مشيمة جدارية . والبذور في هذه الرتبة إندوسرمية .

الفصيلة البنفسجية

تضم الفصيلة البنفسجية (*Violaceae*) ما يقرب من ١٦ جنساً و ٨٥ نوعاً منتشرة في جميع أنحاء العالم ، وتختلف النباتات التابعة لهذه الفصيلة بين

الأعشاب والشجيرات والأشجار ، وتمثل هذه الفصيلة بجنس واحد في جمهورية مصر العربية يشتمل على البنفسج (*Viola odorata*) والبانسيه (*Viola tricolor*) وهما من نباتات الزينة الشائعة .

البانسيه :

البانسيه نبات عشبي يحمل أزهاراً جميلة وحيدة على الساق ، خنثى ، وحيدة التناظر وتحت مناعية (شكل ٣١٤ : ١) .

الكأس : تتركب من خمس سبلات سائبة تمتد منها زوائد إلى أسفل تحت المستوى الذى تتصل عنده السبلات بالتخت (شكل ٣١٤ : ب ، ج) .

التويج : يتكون من خمس بتلات منفصلة غير متساوية ، وتستطيل البتلة الأمامية إلى مهماز أو جيب يتجمع فيه الرحيق (شكل ٣١٤ : ب ، ج) .

الطلع : يتكون من خمس أسدية متبادلة مع البتلات لها خيوط قصيرة ومتوك على هيئة مخروط يحيط بالمبيض ، ويمتد الرابطان فى المتكين الأماميين ويستطيلان ويكونان زائدتين تبرزان داخل المهماز (٣١٤ ب : ج) ، وتفرز الزائدتان مادة رحيقية شبيهة بالعسل تتجمع فى المهماز .

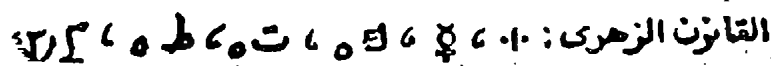
المتاع : يتكون من ثلاث كرابل ملتحمة وغرفة واحدة تحتوى على بويضات عديدة تنشأ على ثلاث مشبات جدارية ، ويعلو المبيض قلم ينتهى بميسم كروى .

وتتميز زهرة البانسيه بطريقة خاصة فى التلقيح سبق شرحها فى باب التلقيح .

الثمرة : علبة تنفتح بالانشقاق الحاجزى إلى ثلاثة مصاريع .

رتبة الآسيات

تشتمل رتبة الآسيات (*Myrtiflorae*) على ٢٣ فصيلة من بينها الفصيلة الآسية (*Myrtaceae*) ، وتتميز هذه الرتبة بلحائها الداخلى وأزهارها ذات النحت الفنجالى الشكل الذى يتحد فى بعض الأحيان مع المبيض .



الفصيلة الآسية

الكافور :

تنتشر أشجار الكافور (Encalyptus) على جوانب الكثير من الطرق الزراعية بمصر وتصل الأشجار إلى ارتفاع كبير ، ويتضخم جذعها

المتاع : سفلى ويتركب من أربع كرايل وأربع غرف ، تحتوى كل منها على عدد من البويضات تنشأ على مشيمة محورية (شكل ٣١٥ ج ، هـ) ، ويعلو المبيض قلم ينهى بميسم واحد .

الثمرة : علبة (شكل ٣١٥ : و) .

النباتات الطبية :

القرنفل (*Syzgium aromaticum*) : تستخدم البراعم الزهرية الجافة كمنبه عطري وفي تحضير أحد الزيوت الطيارة . كما تعتبر أيضاً من التوابل الهامة .

الكافور : يستخدم الزيت المستخرج من تقطير الأوراق في بعض أنواع الكافور كطهر للوقاية من بعض الأمراض مثل الأنفلونزا والالتهابات الشعبية .

ومن النباتات الاقتصادية التابعة لهذه الفصيلة الجوافة (*Psidium guajava*) وهى من أشجار الفاكهة المنتشرة في مصر ، وتحتوى أوراقها على مادة مضادة للميكروبات .

نباتات الزينة :

كالليستيمون (*Callistemon*) : وفيه يمتد محور النورة إلى أعلى ويحمل أوراقاً فوق مستوى الأزهار ، وتبدو النورة كلها كالفرجون المستعمل في تنظيف القوارير .

الميرتس (*Myrtus communis*) .

رتبة الخيميات

تضم الخيميات (*Umbelliflorae*) ثلاث فصائل ، منها الفصيلة الخيمية (*Umbelliferae*) . وتتميز هذه الرتبة بنوراتها الخيمية المركبة أو البسيطة ، وبأزهارها فوق المتاعية ويضمور بعض أجزائها الزهرية ، ويتركب متاعها من كرتبتين تحتوى كل منهما على بويضة واحدة .

الفصيلة الخيمية

تضم الفصيلة الخيمية (Umbelliferae) ما يقرب من ١٢٥ جنساً و ٢٩٠٠ نوعاً ، منتشرة في جميع أنحاء العالم ، والنباتات عشبية ، وتعمر لمدة حولين أو أكثر ، وللساق نخاع كبير ينكمش أو يحف عند النضج ، ومن ثم تصبح السلاميات مجوفة . والأوراق متبادلة غير مؤذنة ، وعناقها يغلف الساق ، والنصل غالباً مجزأ والنورة عادة خيمية مركبة ، ويوجد في نهاية المحور الأصلي - عند بدء تفرعه - عدد من القنابات مكونة قلافة (Involucre) . وعند نهاية كل فرع من الفروع التي تخرج من المحور الأصلي توجد مجموعة من الفنيبات عند قواعد الأزهار تعرف بالقليفة (Involucrel) . وسندرس على سبيل المثال نبات الشمر (Foeniculum vulgare) .

لشمر :

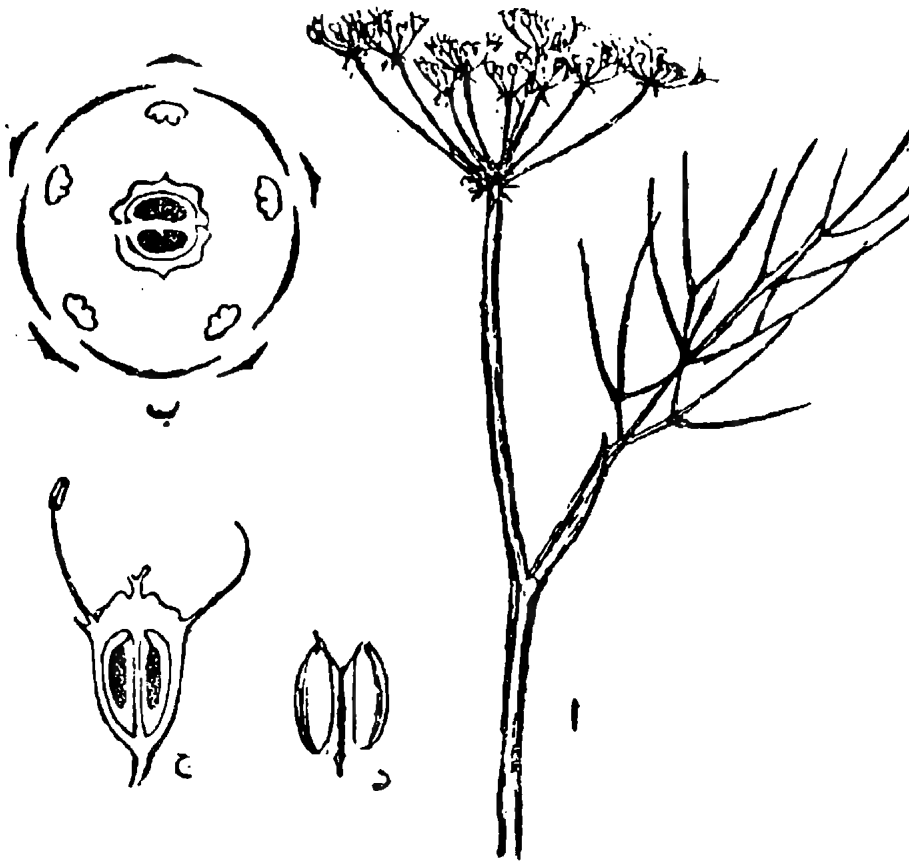
هو نبات عشبي يحمل أوراقاً مجزأة إلى أجزاء دقيقة (شكل ٣١٦ : أ) ، وأعناقها تلتف حول الساق والأزهار مرتبة في نورات خيمية مركبة ، وهي منتظمة خنثى وفوق متاعبة .

الكأس : يتركب من خمس سبلات منفصلة ، تصل في ضالة حجمها إلى حد كبير فتصبح على هيئة أسنان أو نتوءات ضامرة من البشرة الخارجية .
التويج : يتركب من خمس بتلات منفصلة ، وأطرافها منحنية للداخل .

الطلع : يتركب من خمس أسدية متبادلة مع البتلات ، تنحني إلى الداخل في البراعم ، وتنسبط في الزهرة البالغة ، وتنشأ الأسدية على قرص رحيق فوق متاعى (Epigynous disc) (شكل ٣١٦ : ب) .

المتاع : يتركب من كربلتين ملتحمتين في غرفتين ، وتوجد بكل غرفة بويضة واحدة مقلوبة ومعلقة (شكل ٣١٦ : ج) والمبيض سفلي ، ويوجد بأعلى المبيض قرص رحيق فوق متاعى ، يخرج منه قلمان قصيران .

(شكل ٣١٦)



القانون الرهري ⊕ ، ⊖ ، ♂ ، ♀ ، ت ، ط ، ه ، م ، ق (٢)

المصيلة الخيمية ، الشعر : (١) جزء من فرع ينتهي بنورة ، (ب) مقطع زهري ،
(ج) رسم تخطيطي افطاع طولي مركزي في المستوى الوسطي للرهرة ، (د) الثمرة .

الثمرة : منشقة ، وتتكون من ثمرتين جزئيتين (Mericarps) ، وتحتوي كل منهما على بذرة واحدة . وفي بادئ الأمر يتصل هذان الجزءان بعنق رفيع يطلق عليه اسم حامل كربلي (Carpophore) . ويوجد على سطح غلاف الثمرة خمسة نتوءات ابتدائية . واحد ظهري واثنان جانبيين ، ويوجد بين النتوء الظهري وكل من النتوءين الجانبيين نتوء متوسط ، وفي بعض النباتات يوجد بين النتوءات الابتدائية نتوءات أخرى ثانوية ، وفي البعض الآخر توجد فجوات زيتية في الأنسجة التي تتوسط النتوءات ، وتبعاً لشكل هذه النتوءات وتوزيعها يمكن تمييز الأجسام المختلفة ، وللبذرة إندوسبرم غزير وجنين ضئيل وتتحمل البذرة غالباً بغلاف الثمرة .

النباتات الاقتصادية :

تضم هذه الفصيلة بعض النباتات الاقتصادية التي تزرع بمصر وهي :
الجزر (*Daucus carota*) ، والكراوية (*Carum carvi*) ، والكرفس
(*Petroselinum sativum*) ، والبقدونس (*Apium graveolens*) ،
والكزبرة (*Coriandrum sativum*) ، والشبث (*Anethum graveolens*) .

النباتات الطبية :

الخلخلة (*t Ammi visnaga*) : اكتشف طيبيان مصريان مادة زيتية ،
تعرف بالخلخين . تستخرج من بذور هذا النبات . وتعالج بها الذبحة الصدرية
ونوع من الأمراض الجلدية .

الينسون (*Pimpinella anisum*) : لثمار هذا النبات رائحة ومذاق مستحب
لذلك تضاف إلى بعض المواد الطبية ، كما أن لها تأثيراً منبهاً طارداً للغازات .

رتبة الملتويات

تضم رتبة الملتويات (Contortae) ست فصائل من بينها الفصيلة الزيتونية
(Oleaceae) والأبوسينية (Apocynaceae) . وتتميز هذه الرتبة عادة
بأوراقها المتقابلة ، عديمة الأذينات ، البسيطة أو المركبة الريشية ، وبأزهارها
الخنثى ذات البتلات الملتفة والأسدية فوق البتلة ، ويتركب المتاع فيها
من كربلتين .

الفصيلة الزيتونية

تضم الفصيلة الزيتونية (Oleaceae) ما يقرب من ٢٢ جنساً و ٥٠٠ نوعاً
منتشرة في المناطق الحارة والمعتدلة الدافئة . وتختلف النباتات بين الأشجار
والشجيرات ، وتحمل أوراقاً متقابلة ، عديمة الأذينات ، بسيطة أو مركبة
ريشية ذات حافة كاملة ، ومن بين نباتات الزينة الشائعة نبات الياسمين .

النباتات الاقتصادية :

الزيتون (*Olea europaea*) : وتستخدم ثماره في الطعام ، كما يستخرج منها الزيت بعصرها

الياسمين (*Jasminum sambac*) و (*Jasminum grandiflorum*) تستخرج من أزهاره زيوت عطرية .

الفصيلة الأبوسينية

تشمل الفصيلة الأبوسينية (*Apocynaceae*) حوالي ٣٠٠ جنس و ١٤٠٠ نوع منتشرة في جميع أنحاء العالم . وتختلف ما بين أشجار وشجيرات ملتفة وأعشاب ، وتتميز باحتواء أنسجتها على مواد لبنية وحزم وعائية ذات جانبيين . وتحمل النباتات أوراقاً بسيطة مؤذنة ذات حافة كاملة . ومن بين نباتات الزينة الهامة التابعة لهذه الفصيلة الونكة .

الونكة :

الونكة (*Vinca rosea*) نبات عشبي يحمل أوراقاً بسيطة متقابلة وأزهاراً بيضاء أو وردية اللون ، خنثى ، منتظمة وتحت متاعية (شكل ٣١٨ : ١) .

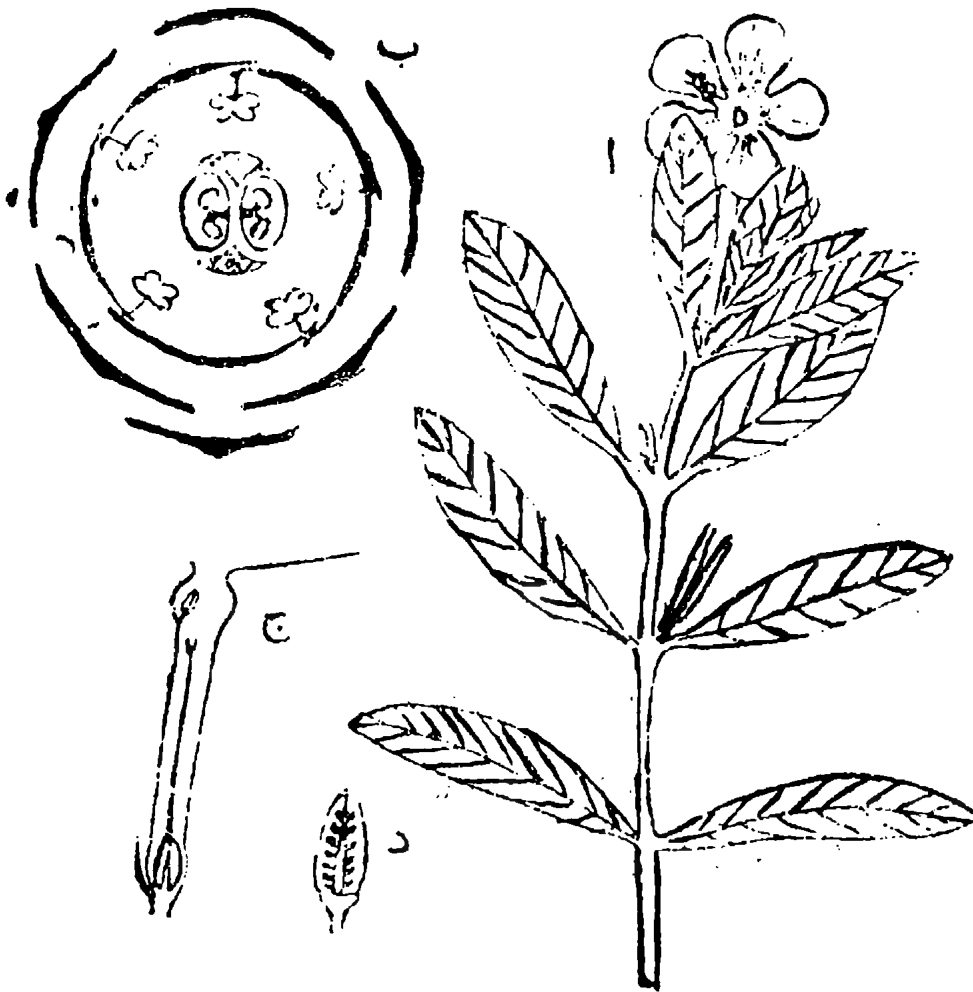
الكأس : تتركب من خمس سبلات منفصلة (شكل ٣١٨ : ب) .

التويج : يتركب من خمس بتلات ملتحمة وهي ملتفة في البراعم ، ولكنها تنفرد في الزهرة البالغة وتأخذ شكل الأنبوبة الضيقة ذات الأطراف المتعامدة ، وتظهر زوائد على السطح الداخلي للبتلات في كثير من النباتات مثل الدفلة .

الطلع : يتكون من خمس أسدية فوق بتلية متبادلة مع البتلات (شكل ٣١٨ : ب ، ج) والكل سداة خيط قصير وملتصق يستطيل في بعض النباتات إلى زائدة .

المتاع : يتركب من كربلتين منفصلتين تتصلان بواسطة القلم ، كما يحوى على غرفتين بكل منهما عدد من البويضات تنشأ على مشيمة جدارية (شكل ٣١٨ : د) والقلم بسيط ينتهى بميسم متضخم . ويتركب القرص الرقيق من فصين على الجانبين الأمامى والخلفى عند قاعدة المبيض .
الثمرة : متجمعة .

(شكل ٣١٨)



الطائون الزهرى : ♂ ♀ ، لكه ، ت (هـ) ، طه ، م (ز)

الوصف الأهم : الزهرة : (١) جزء من فرع زهرى ، (ب) مقطع زهرى ،
(ج) رسم مخطط ، لطاع طولى مركزى لى المستوى الوسطى للزهرة ، (د) اطاع طولى
فى المبيض .

نباتات الزينة :

تضم هذه الفصيلة عدداً من نباتات الزينة مثل الونكة والياسمين الهندي (*Plumeria acutifolia*) والهومنتيا (*Beaumontia grandiflora*) والتفتيا (*Thevetia peruviana*) .

تضم الفصيلة أيضاً بعض النباتات الاقتصادية مثل اللاندولفيا (*Landolphia*) وكيكسيا (*Kickxia*) ، وترجع أهمية هذه النباتات لاحتواء اللبن المستخرج منها على الكاوتشوك .

رتبة الأنبوبيات

تشتمل رتبة الأنبوبيات (*Tubiflorae*) على ٢٣ فصيلة من بينها الفصيلة العلاقية (*Convolvulaceae*) والوربانية (*Verbenaceae*) والشفوية (*Labiatae*) والباذنجانية (*Solanaceae*) وفصيلة حنك السبع (*Scrophulariaceae*) والبيجنونية (*Bignoniaceae*) . والأزهار في هذه الرتبة إما منتظمة بها خمس أسدية أو وحيدة التناظر بها أربع أسدية أو اثنتان ، والأسدية في جميع الحالات فوق بتلية ، والبتلات متحدة .

الفصيلة العلاقية

تشمل الفصيلة العلاقية (*Convolvulaceae*) حوالي خمسين جنساً وألف نوع ، منتشرة في المناطق الحارة والمعتدلة . ونباتات هذه الفصيلة إما أن تكون عشبية شجيرية ، ويندر أن تكون أشجاراً ، والكثير من هذه النباتات متسلقة ، وبعضها يحتوي على عصير لبنى . وتتميز نباتات هذه الفصيلة بوجود حزم وعائية ذات جانبيين . والأوراق متبادلة عديمة الأذينات عادة ، وغالبية النباتات تحمل براعم مساعدة ، ويتركب شراخ النورة عادة من عدد من المفاصل . وتشتمل هذه الفصيلة على بعض النباتات البرية وبعض نباتات الزينة مثل الإييوميا (*Ipomoea*) .

الأيوميا :

نبات متسلق يعد من نباتات الزينة الهامة ، ويحمل أزهاراً كبيرة الحجم
زرقاء اللون ، خنثى ومنتظمة وتحت متاعية .

الكأس : تتركب عادة من خمس سبلات سائبة .

التويج : يتركب من خمس بتلات متحدة ، حوافها غير متراكبة ، ولكنها
منتنية إلى الداخلى (Induplicate) وملتفة في البراعم (شكل ٣١٩ : ب) .

الطلع : يتركب في خمس أسدية فوق بتلية متبادلة مع البتلات (شكل
٣١٩ : ب ، ج) .

المتاع : يتركب من كربلتين أو ثلاث كرايل (شكل ٣١٩ : ب)
ملتحمة ، والمبيض علوى ويقع فوق قرص رحيق ، ويتركب من عدد من
الغرف مساو لعدد الكرايل ، وتحتوى كل غرفة على بويضتين ، والوضع
المشيمى محورى قاعدى (شكل ٣١٩ : د) ، والقلم خيطى بسيط ، وينتهى
بإسم منتفح .

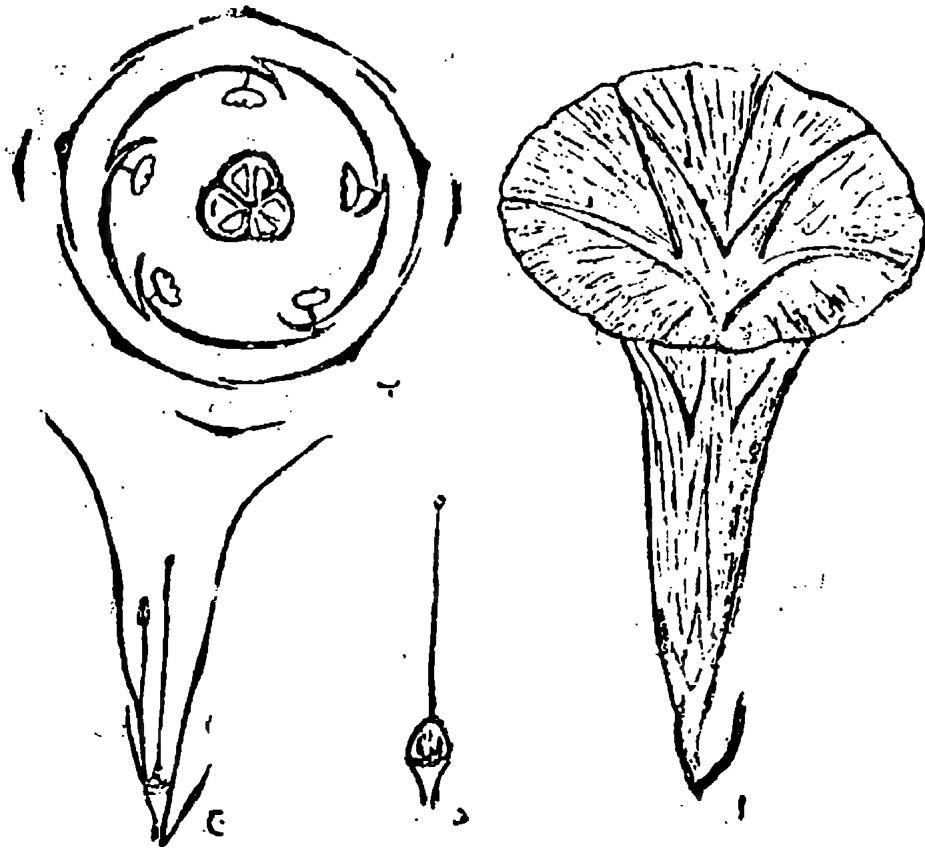
الثمرة : علبة

تضم هذه الفصيلة عدداً من نباتات الزينة والنباتا البرية ، وينتمى نبات
البطاطا (*Ipomoea batatas*) إلى هذه الفصيلة ، وجذوره الجانبية درنية ،
وتستعمل كغذاء لاحتوائها على نسبة كبيرة من النشا والمواد السكرية . وتستغل
تجارياً كمصدر للنشا .

ومن بين نباتات الزينة التابعة لهذه الفصيلة نباتات أرجيريا (*Argyrea*
speciosa) ، وهو نبات متسلق يحمل أوراقاً كبيرة تغطي سطحها السفلى
شعيرات تجعل ملمسه حريرياً ، ونبات ست الحسن (*Ipomoea carica*) ،
ويستعمل نبات (*Ipomoea pea-carpae*) فى تثبيت الغرود الرملية .

ومن النباتات البرية ما يأتى :

(شكل ٣١٩)



القانون الزهرى : \oplus ٥ ٤ ٣ ٢ ١ ط ٥ ٤ ٣ ٢ ١

الفصل الملائمة ، أيوميا : (١) منظر خارجي لزهرة ، (ب) سقط زهرى ، (ج) رسم تضخيم لقطاع طول مركزي و المستوى الوسطي لزهرة ، (د) النسيج فوق القوس الرحمي .

الحامول (Cuscuta) : الذي يعيش متطفلا على بعض نباتات المحاصيل مثل البرسيم .

العليق (Convolvulus arvensis) : ويكثر انتشاره بين النباتات المزروعة في الحقول ، وأزهاره بيضاء .

الندو (Cressa cretica) : وهو من النباتات كثيرة الانتشار في الأراضي الملحية ، وتوجد عليه كزوس اسيدية لبعض فطريات الصدا ، ولم تتحدد الصلة بعد بين هذا الطور الاسيدى وبين الأطوار الأخرى في فطريات الصدا المعروفة .

الفصيلة الوردانية

تضم الفصيلة الوردانية (Verbenaceae) ما يقرب من ٩٨ جنساً و ٢٦١٤ نوعاً منتشرة في المناطق الحارة وشبه الحارة . وتختلف النباتات التابعة لهذه الفصيلة بين العشبية والشجرية والشجيرية . والغالبية في هذه النباتات متسلقة . وتتميز بسيقانها المربعة المقطع ، وهي تحمل أوراقاً بسيطة غالباً غير مؤذنة ، وعادة تكون متقابلة في وضعها ونادراً ما تكون سوارية ، وتشتمل هذه الفصيلة على عدد من نباتات الزينة منها الدورانتا .

الدورانتا :

نبات الدورانتا (Duranta) شجيري يزرع على الأسوار ويحمل أوراقاً بسيطة متقابلة ومسنة الحافة . والنورات عنقودية (شكل ٣٢٠) وتركب من أزهار بنفسجية اللون خنثى وحيدة التناظر .

الكأس : تركب من خمس سبلات ملتحمة ومستديمة .

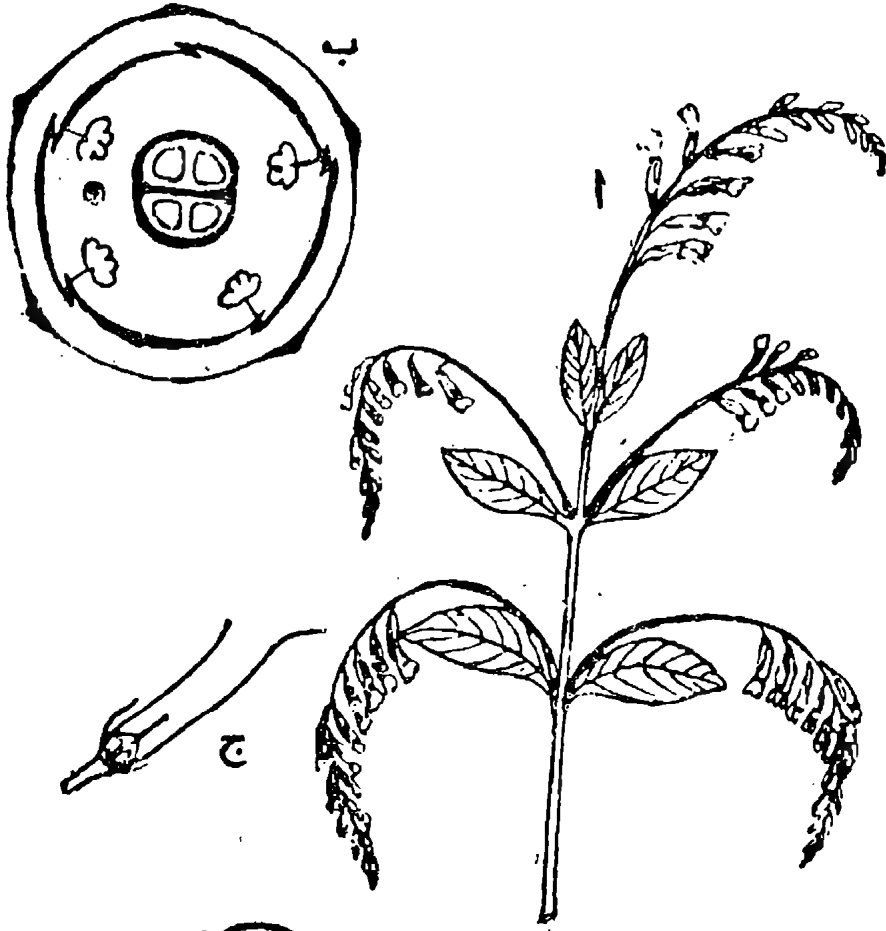
التويج : يتكون من خمس بتلات ملتحمة ذات شفتين ، وعندما تفتح الزهرة يأخذ التويج شكل الأنبوبة الضيقة ذات الأطراف المتعامدة (Salverform) .

الطلع : يتركب من أربع أسدية (ونادراً ما يتكون من سداتين أو خمس في بعض النباتات) اثنتان منها طويلتان والأخريان قصيرتان (Didynamous) وهي متبادلة مع البتلات (شكل ٣٢٠ : ب) .

المناع : علوى يتركب من كرتلتين ملتحمتين وغرتين بكل منهما بويضتان (في بعض النباتات يظهر حاجز كاذب في كل كرتلة ، يقسمها إلى غرتين) . وتنشأ البويضات على مشيمة مركزية عند القاعدة . ويعلو المبيض قلم بسيط ينتهى بمسمين (شكل ٣٢٠ : ب ، ج) .

الثمرة : حسلية .

(شكل ٣٢٠)



القانون الزهرى: ١٠ ، ٩ ، ٨ ، ٧ ، ٦ ، ٥ ، ٤ ، ٣ ، ٢

الفصيلة الوردانية ، الدورانتا : (١) جزء من النبات يحمل ازهارا ، (ب) مقطع زهرى ،
(ج) رسم تخطيطى لنظام طولى مركزى و المستوى الوسطى لزهرة

نباتات الزينة :

تشتمل هذه الفصيلة على بعض نباتات الزينة الشائعة عدا الدورانتا مثل
اللاتانا (*Lantana camara*) والياسمين الزفر (*Clerodendron inerme*) والقربينا
المهجنة (*Verbena hybrida*) .

ويتبع نبات الليبيا (*Lippia nodiflora*) هذه الفصيلة ، وهو نبات
برى ينتشر على شواطئ القنوات كما يزرع فى المسطحات الخضراء . ومن
بين نباتات هذه الفصيلة نبات الشوزة (*Avicennia*) ، وهو من الأشجار الشائعة

التي تنمو في بعض جزر البحر الأحمر بالقرب من الغردقة ، ويتميز بجذوره
المنفصلة .

الفصيلة الشفوية

تضم الفصيلة الشفوية (Labiata) ما يقرب من ٢٠٠ جنس و ٣٢٠٠
نوع ، منتشرة في جميع أنحاء العالم وخاصة في إقليم البحر الأبيض المتوسط .
وهي إما عشبية أو تحت شجيرية ، وتتميز سيقانها بمقطعها المربع ، وتحمل
أوراقاً متقابلة أو محيطية ، عديمة الأذينات وتغطيها شعيرات ، ويتميز كثير
من النباتات برائحة خاصة ، يرجع وجودها لغدد من البشرة تفرز زيوتاً
طيارة .

وتتكون النورة في البداية من عنقود يحمل فروعاً تتركب من نورات
محدودة ثنائية الشعب ، وتنتهي هذه بنورات محدودة قوقعية ، وفي معظم
نباتات هذه الفصيلة تزاحم الأزهار وتصبح جالسة ، وعند كل عقدة تتجاوز
النورتان ثنائيتا الشعب الخارجتان من إبط الورقتين المتقابلتين ، ومن ثم تبدو
الأزهار كأنها في محيط واحد (Verticillaster) .

وتضم هذه الفصيلة عدداً من النباتات الاقتصادية ، وبعض نباتات الزينة
مثل السلفيا (Salvia) .

السلفيا :

نبات تحت شجيري ، يحمل أوراقاً متقابلة ومتعامدة وأزهاراً حمراء
تنظم على محور وتندرج في الكبر كلما اتجهنا إلى أسفل ، وتخرج عند كل عقدة
نورتان محدودتان ثنائيتا الشعب متقابلتان (شكل ٣٢١ : ١) . ونظراً لتزاحم
الأزهار عند كل عقدة تبدو وكأنها في محيط واحد ، وهي نحني وحيدة التناظر
وتحت متعينة .

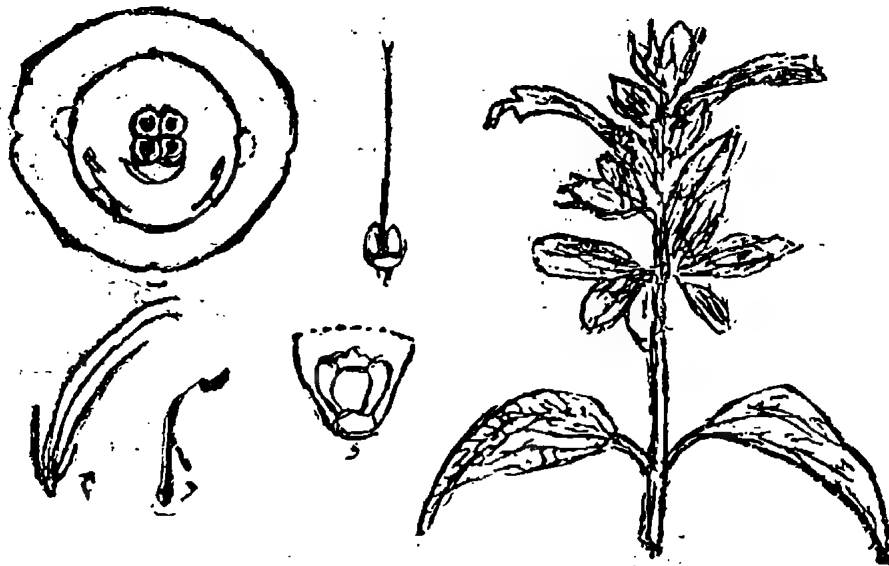
الكأس : حمراء اللون ، وتتركب من خمس سبلات ملتحمة ومستديمة على
هيئة شفتين ، والعليا من ثلاث سبلات (والسفلى من سبلتين) (شكل ٣٢١ : ب)

التويج : أنبوبي الشكل ويتكون من شفتين ، العليا تتركب من بتلتين والسفلى من ثلاث بتلات ، وتتحد البتلات جميعاً (شكل ٣٢١ : ب) .

الطلع : يتركب من سداتين أماميتين فوق بتلتين ، ويستطيل الموصل فيهما فيفصل فصي المتك بعيداً ويظهر الفص الأمامي ضامراً ، ويتحرك الموصل فوق الحيط (شكل ٣٢١ : د) ، وبذلك يشبه الرافعة .

المتاع : يتركب من كرتلتين متحدتين والمبيض علوى ، ويوجد أسفله قرص رحيق (شكل ٣٢١ : هـ) . وعندما يأخذ في النضج يمتد نتوء داخل كل كرتلة ويقسمها إلى غرفتين ، وبذلك يصبح المبيض في الزهرة الناضجة مكوناً من أربع غرف ، وحينئذ ينشأ القلم من قاعدة المبيض (Gynobancio) وتحتوى كل غرفة ناشئة على بويضة واحدة تخرج من قاعدة المبيض بالقرب من المركز ، ويتركب الميسم من فصين .

(شكل ٣٢١)



الفاصوليا الزهرى : ١٠٠٠ (١) ك (٥) هـ (٥) ط (٢) (٢)

الفصيلة الشفوية ، السلفيا : (١) جزء من فرع زهرى ، (ب) سلف زهرى ، (ج) رسم تخطيطى لقطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى للزهرة . (د) سلفاء ، (هـ) المتاع فوق الفرج الرحيق . (و) الثمرة :

الثمرة : متجمعة ، تتركب من أربع بنيدات (Nutlets) يضمها الكأس المستديم (شكل ٣٢١ : و) .

النباتات الاقتصادية : تشمل هذه الفصيلة على عدد من النباتات الاقتصادية منها :

النعناع (*Mentha piperita*) : ويستخرج منه زيت عطري .

اللفانديولا (*Lavandula officinalis*) : ويستخرج منه زيت عطري (Lavander) ، وذلك بتقطير أزهاره الطازجة .

ومن بين النباتات التابعة لهذه الفصيلة أيضاً الريحان (*Ocimum basilicum*) وحصا البان (*Rosmarinus officinalis*) والبردقوش (*Origanum majorana*) ويستعمل الإثنان الأخيران كتوابل .

الفصيلة الباذنجانية

تضم الفصيلة الباذنجانية (Solanaceae) حوالى ٨٥٠ جنساً و ٣٢٠٠ نوعاً ، منتشرة فى المناطق الحارة والمعتدلة ، وتتميز نباتات هذه الفصيلة بحزمها الوعائية ذات الجانبين ، وهى إما أن تكون أعشاباً أو شجيرات أو أشجاراً ، وتحمل أوراقاً متبادلة ولكنها متقابلة فى الجزء المزهر من الساق ، وهى بسيطة عديمة الأذينات ، والأزهار إما منفردة أو مرتبة فى نورة محدودة ، وتضم هذه الفصيلة كثيراً من النباتات الاقتصادية والطبية ونباتات الزينة مثل البيتونيا (*Petunia*) .

البيتونيا :

يعد هذا النبات من أهم نباتات الزينة التى تكثر زراعتها فى مصر ، وهو نبات عشبي حوى ، يحمل أزهاراً تتباين فى ألوانها ، وهى خنثى منتظمة ، ويمكن اعتبارها وحيدة النواظر قليلاً وتحت مناعية .

الكأس : تتركب من خمس سبلات ملتحة :

التويج : يتكون من خمس بتلات ملتحة ومنثية إلى الداخل وملتفة في البرعم ، وعندما يتم نضج الزهرة تنفرد البتلات ويأخذ التويج شكل القمع (شكل ٣٢٢ : ١) .

الطلع : يتركب من خمس أسدية فوق بتلية متبادلة مع البتلات (شكل ٣٢٢ : ب ، ج) .

المتاع : يتركب من كرتبتين متحدتين ، والمبيض علوى فوق قرص رحيق . ويتركب من غرفتين في وضع مائل ، والبويضات عديدة وتتصل بمشيمة محورية غليظة (شكل ٣٢٢ : ب ، ج) ، والقلم بسيط وينتهي بميسم ذى فصين .

الثمرة : علبة .

النباتات الاقتصادية : تضم هذه الفصيلة عدداً وافراً من النباتات الاقتصادية منها البطاطس (*Solanum tuberosum*) والطماطم (*Solanum lycopersicum*) والباذنجان (*Solanum melongena*) ، والتبغ (*Nicotiana tabacum*) والفلفل الأحمر (*Capsicum annuum*) .

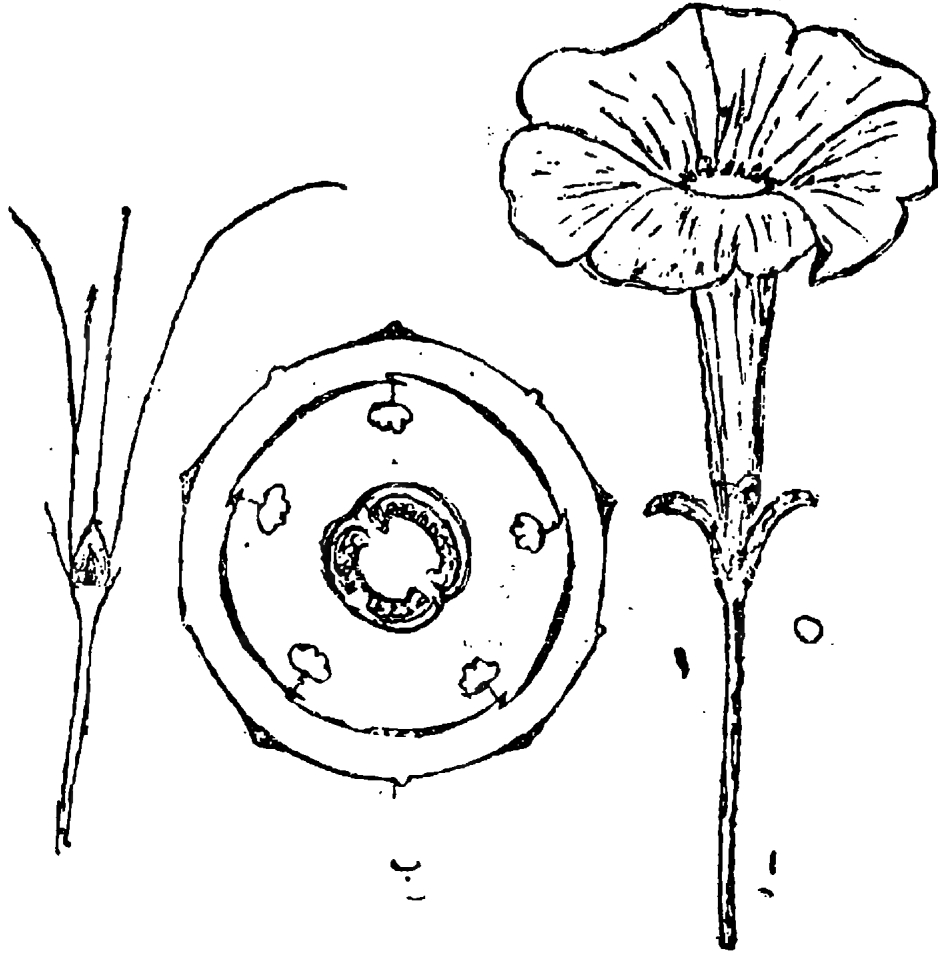
النباتات الطبية :

البلاذونا (*Atropa belladonna*) : وتستخرج من أوراقها الجافة وبعض أجزائها الهوائية المادة الطبية المعروفة باسم البلاذونا (*Belladonna*) التي تستعمل لهدئة الأعصاب ، وكذلك مادة الأتروبين (*Atropine*) التي تستعمل في توسيع حدقة العين .

الداتورة (*Datura stramonium*) : وتستخدم أوراقها في علاج الربو ، وتستخرج من الداتورة أيضاً مادة الأتروبين ، وكذلك الهيوسين (*Hyoscyamine*) الذي يستعمل كنوم .

السكران (*Hyoscyamus muticus*) : وتستخرج منه مادة طبية شبيهة بالمواد التي تستخرج من البلاذونا والداتورة ، ولكنها أقل تأثيراً .

الفلفل : وهناك نوع من الفلفل (*Capsicum minimum*) يستخرج منه مادة طبية تسمى كابيسيسين (*Capsicin*) تستعمل في علاج الالتهاب والروماتيزم .



القانون الزهرى ⊕ ، ♀ ، ♂ ، مت (٥) ، ط ج ٢٤٣
الفصيلة الباذنجانية ، البتونيا : (ب) - مقطع زهرى ، (ج) رسم تخطيطى لقطاعات طول
مركزى للمستوى الوسطى للزهرة .

فصيلة حنك السبع

تضم فصيلة حنك السبع (Scrophulariaceae) ما يقرب من ٢٠٠ جنس و ٣٦٠٠ نوع ، منتشرة فى جميع أنحاء العالم ، وغالبية هذه النباتات أعشاب وتحت شجيرات ، وقليل منها شجيرات أو أشجار ، وتحمل أوراقاً متبادلة أو متقابلة ، وفى بعض الأحيان محيطية ، وهى عذبة الأذينات بسيطة ، وحافتها كاملة ، أو مفصصة ، ومن أهم نباتات الزينة التابعة لهذه الفصيلة نبات حنك السبع (Antirrhinum majus) .

التويج : يتركب من خمس بتلات متحدة تأخذ شكل الشفتين ، وتتكون الشفة العليا من بتلتين والسفلى من ثلاث (شكل ٣٢٣ : ب) .

الطلع : يتركب من أربع أسدية فوق بتلية ، اثنتان منها طويلتان والأخريتان قصيرتان (Didynamous) .

المتاع : يتركب من كرتلتين متحدتين في وضع وسطى ، وليس مائلا كما في الفصيلة الباذنجانية ، والمبيض علوى - ويوجد فوق قرص رحيقى - ويتكون من غرفتين ، تشتمل كل منهما على عدد من البويضات تنشأ على مشيمة محورية سمكية (شكل ٣٢٣ : ب ، ج) ، ويعلو المبيض قلم بسيط ينتهى بمسككون من فصين .

الثمرة : علبة ، تحاط من أسفل بالكأس المستديم .

ومن أهم النباتات الطبية التابعة لهذه الفصيلة نبات الديجيتاليس (Digitalis purpurea) ، ويستحضر من أوراقه الجافة عقار الديجيتالين (Digitalin) الذى يستخدم فى علاج أمراض القلب كمنبه ومقوى .

ومن نباتات الزينة الشائعة - عدا جنك السبع - نبات الليناريا (Linaria) والروسيليا . (Russelia juncea) .

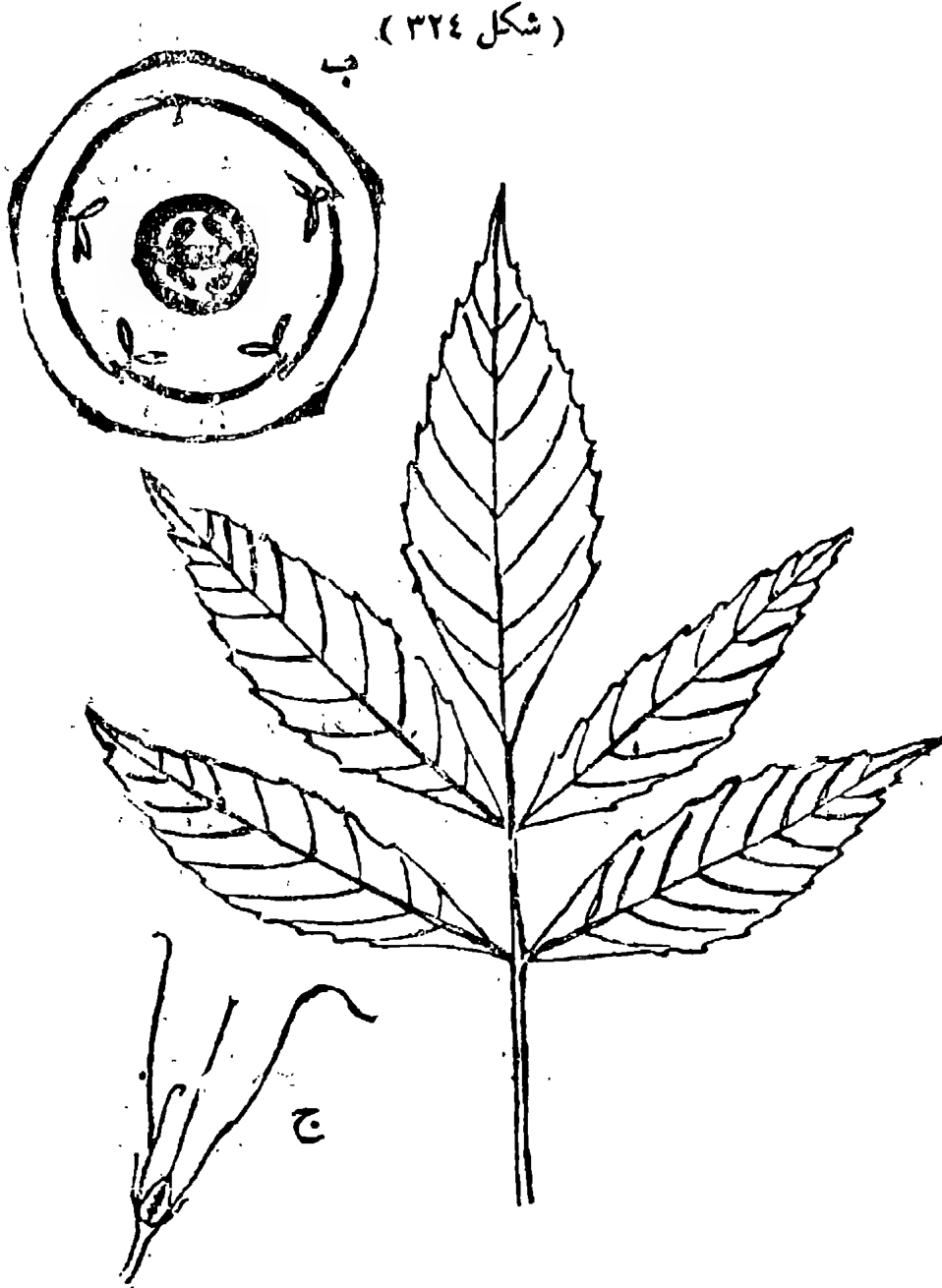
الفصيلة البجنونية

تضم الفصيلة البجنونية (Bigno niaceae) ما يقرب من ١١٠ جنساً و ٧٥٠ نوعاً تنتشر غالبيتها فى المناطق الحارة ، بينما تستوطن الأقلية المناطق المعتدلة . والنباتات التابعة لهذه الفصيلة إما أشجار أو شجيرات وعادة تكون متسلقة ، وتحمل أوراقاً مركبة ريشية غير مؤذنة تتحور الوريقة الطرفية فيها عامة إلى معلاق . وتشمل الفصيلة على عدد من أشجار الزينة من بينها التيكوما .

التيكوما :

التيكوما (Tecoma stans) من أشجار الزينة المنتشرة فى بعض الحدائق ، وهى تحمل أوراقاً مركبة ريشية فردية (شكل ٣٢٤ : أ) وأزهاراً صفراء اللون كبيرة الحجم قمية الشكل ، خنثى ، وحيدة الناظر . ونحت متاعية .

الكأس : تتركب من خمس سبلات ملتحمة .
التويج : يتكون من خمس بتلات ملتحمة متراكبة تراكباً تنازلياً في
البرعم الزهرى (شكل ٣٢٤ : ب) .



القانون الزهرى : ♂ ، ♀ ، لك (٥) ، ت (٥) ، ط ع ، (٢) (٣)
الفصيلة البجنونية ، النيسكوما : (١) ورقة ، (ب) مسقط زهرى ، (ج) رسم تضخيم
انقطاع طولى مركزى فى المستوى الوسطى للزمرة .

الطلع : يتّركب من أربع أسدية فوق بتلية ، اثنتان طويلتان والأخريتان قصيرتان ، وتحمل كل سداة متكاً ذا فصين يقع الواحد منهما في مستوى فوق الآخر .

المتاع : المبيض علوى ويقع فوق قرص رحيق . ويتّركب المتاع من كرتين متحنتين وغرتين ، وتحوى كل غرفة عدداً كبيراً من البويضات تنتظم على مشيمة محورية . ويعلو المبيض قلم بسيط ينتهى بميسم ذى فصين (شكل ٣٢٤ : ج) .

الثمرة : علبة .

نباتات الزينة :

كاجليا (*kigelia pinnata*) : تتميز أشجارها بثمارها الاسطوانية الكبيرة الحجم ، وهى تتدلى من أعناق طويلة شبيهة بالحبال .

بيجنونيا (*Bignonia venusta*) : نبات متسلق يحمل أزهاراً برتقالية اللون وأوراقاً تنهى بثلاثة معاليق .

جاكارندا (*Jaçaranda acutifolia*) : من أشجار الزينة التى تشاهد فى الطرقات وتحمل أزهاراً زرقاء .

رتبة القرعيات

تشتمل رتبة القرعيات (*Cucurbitales*) على الفصيلة القرعية (*Cucurbitaceae*) فقط .

الفصيلة القرعية

تشتمل الفصيلة القرعية (*Cucurbitaceae*) ما يقرب من مائة جنساً وحوالى ٨٥٠ نوعاً يكثر انتشارها فى المناطق الحارة ، وينعدم وجودها فى المناطق الباردة .

والنباتات التي تنتمي لهذه الفصيلة غالباً عشبية متسلقة ، لها معاليق متحورة عن جذور أو سيقان أو أوراق أو أذينات أو أعناق أزهار ، والقليل منها زاحفة ، ومن بين النباتات الشائعة قرع الكوسة .

القرع (الكوسة) :

القرع (*Cucurbita pepo*) نبات عشبي زاحف ساقه مضلعة تحمل أوراقاً بسيطة مفصصة ، وهو وحيد المسكن ، أي أن الأزهار الذكورية والأنثوية توجد على نفس النبات ، وهي وحيدة ولا تنتظم في نورات ومنتظمة.

الكأس : تتركب من خمس سبلات سائبة .

التويج : يتكون من خمس بتلات ملتحمة .

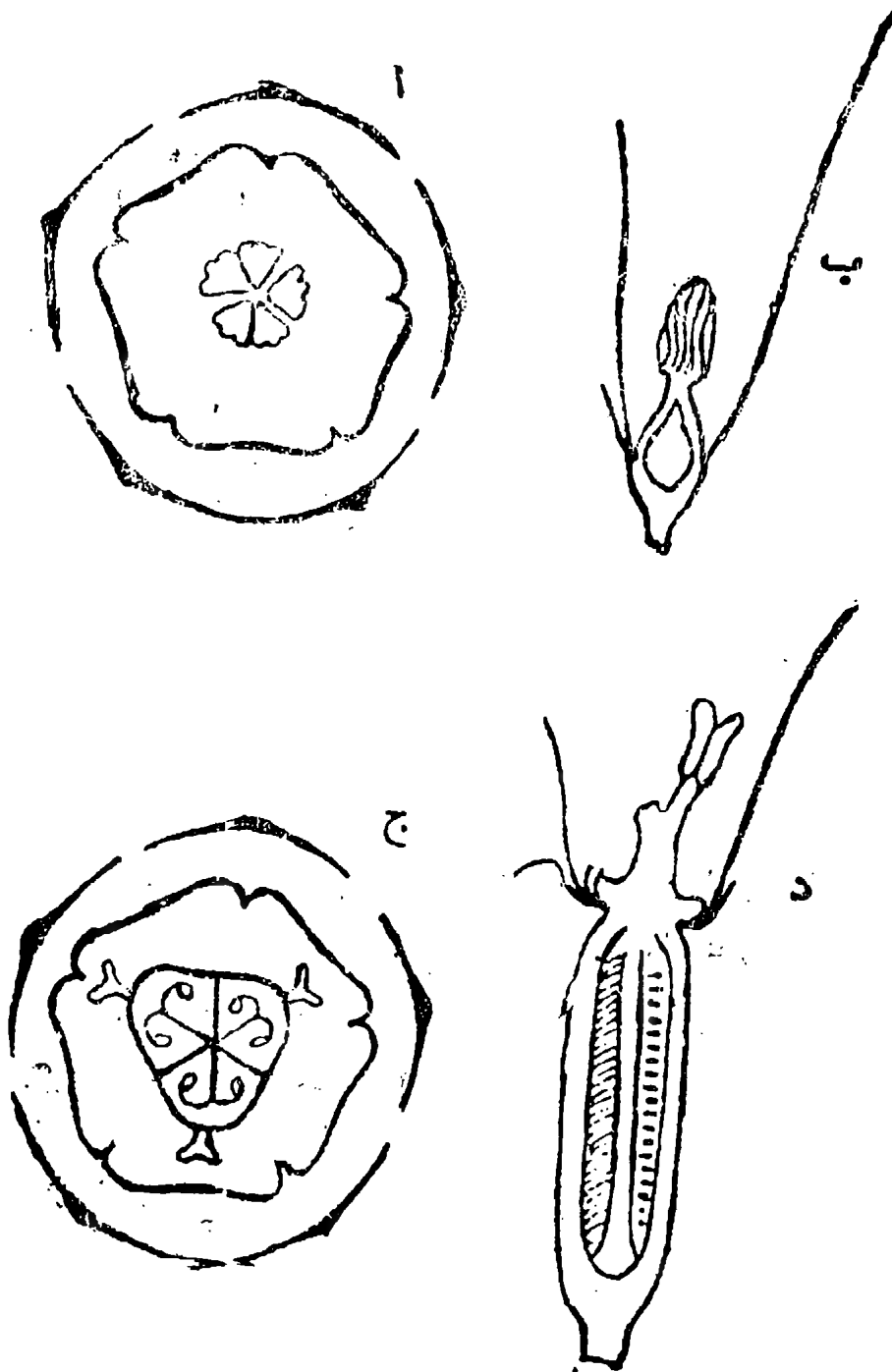
الطلع : في الزهرة الذكورية يتركب الطلع من خمس أسدية التوت فيها المتوك وكونت عاموداً مركزياً . أما الخيوط فتتميز إلى زوجين ملتحمين وواحد منفصل (شكل ٣٢٥ : ١ ، ب) .

المتاع : في الزهرة الأنثوية يكون المتاع سفلياً ، ويتركب من ثلاث كوابل ملتحمة وثلاث غرف بكل منها بويضات عديدة تنتظم على مشيمة مركزية تبرز في فراغ الغرفة . ويعلو المبيض قلم بسيط ينتهي بثلاثة مياسم تنقسم إلى ستة فصوص (شكل ٣٢٥ : ج ، د) .

الثمرة : لبية ،

النباتات الاقتصادية : تضم الفصيلة عدداً من النباتات تؤكل ثمارها مثل البطيخ (*Citrullus vulgaris*) والخيار (*Cucumis sativus*) والشمام (*Cucumis melo*) وقرع الكوسة ، كما تضم أيضاً اللوف (*Luffa cylindrica*) ، وفيه يستخدم غلاف الثمرة - الذي تحترقه شبكة من الخزم الوعائية - بعد تجفيفه في الاستحمام .

النباتات الطبية : من أهم النباتات الطبية التابعة لهذه الفصيلة نبات الحنظل



القائون الزهرى : ♂ (أ) مخطط زهرى لزهرة ذكرية ، (ب) رسم مخطوطى لقطع
طولى مركزى فى المستوى الوسطى لزهرة ذكرية ، (ج) مخطط زهرى لزهرة أنثوية ،
♀ (د) رسم مخطوطى لقطع طولى مركزى فى المستوى الوسطى لزهرة أنثوية .

الفصيلة القرمية - الفرع : (أ) مخطط زهرى لزهرة ذكرية ، (ب) رسم مخطوطى لقطع
طولى مركزى فى المستوى الوسطى لزهرة ذكرية ، (ج) مخطط زهرى لزهرة أنثوية ،
(د) رسم مخطوطى لقطع طولى مركزى فى المستوى الوسطى لزهرة أنثوية .

Colocynthis vulgaris) الذي يستخرج من لب ثماره عندما تجف عقار ملقم (Colocynth) الذي يستخدم في الطب كسهل قري ، كما يستخدم كقاتل حشرات .

رتبة الجرسيات

تضم رتبة الجرسيات (Campanulatae) ست فصائل ، منها الفصيلة المركبة (Compositae) ، وتتميز هذه الرتبة باحتواء أزهارها على خمس أسدية رتبة في محيط واحد وبالتصاق متوكها أو التحامها . والمتاع في هذه الرتبة حيد الغرفة ويحتوى على بويضة واحدة .

الفصيلة المركبة

تعد الفصيلة المركبة (Compositae) من أكبر الفصائل النباتية ، إذ تضم حوالى ٩٥٠ جنساً و ٢٠٠٠ نوعاً ، منتشرة في معظم أنحاء العالم . وهذه نباتات غالباً عشبية ، ويندر أن تكون شجيرات أو أشجاراً ، وتحمل أوراقاً بدئية الأذينات غالباً ومتبادلة أو متقابلة ، ويندر أن تكون محيطية ، وتختلف ورقة من حيث تركيبها في النباتات المختلفة .

وتتميز هذه الفصيلة بنورتها الهامة التي يتخذ المحور فيها أشكالاً متباينة ، ارة يكون مقعراً وتارة محدباً وتستوى عليه الزهيرات (Florets) الجالسة ، تقع أصغرهما سناً في المركز ، ثم تتدرج في الكبر كلما اتجهنا للخارج ، وتحيط بها من الخارج مجموعة من القنابات يطلق عليها اسم القلافة ، وهي إما أن تكون دائمة أو متساقطة ، ويختلف شكل القنابة في النباتات المختلفة ، وقد تحور إلى شوكة كما في بعض النباتات الصحراوية .

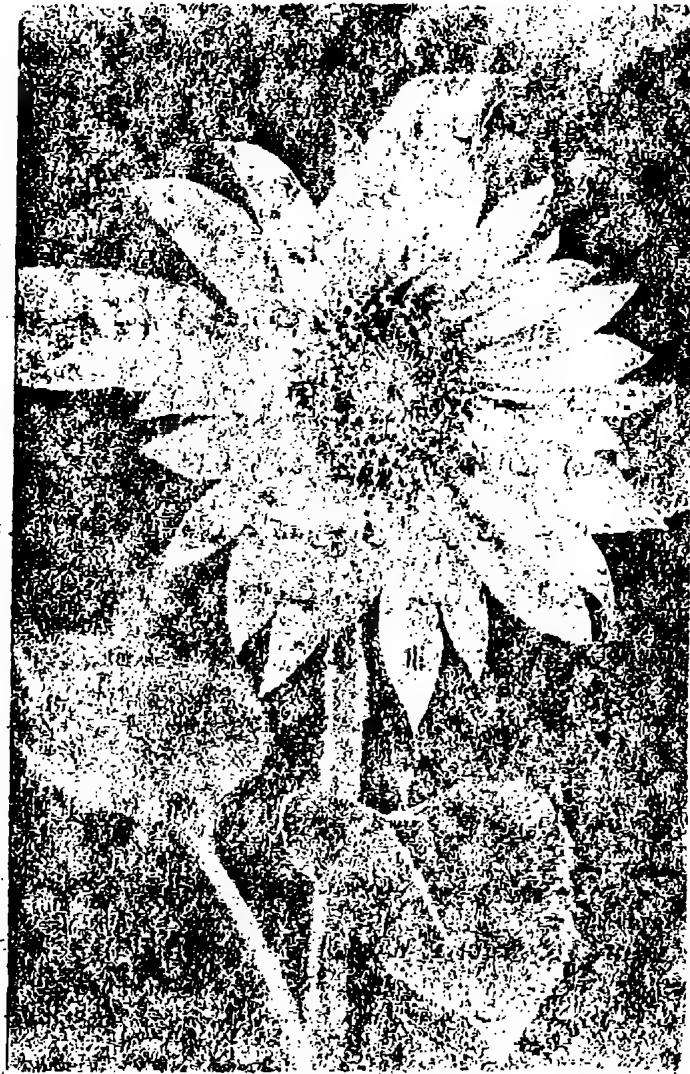
ويختلف الزهيرات التي تتألف منها النورة ، فهي إما أن تكون جميعها منتظمة أو وحيدة التناظر ، أو تكون خليطاً من كلا النوعين ، وفي الحالة لأخيرة تظهر الزهيرات الأنبوبية أو القرصية (Tubular or disc florets) — وهي منتظمة — في الوسط وتحيط بها الزهيرات الشريطية أو الشعاعية (Ligulate or ray florets) ، وهي وحيدة التناظر . ويوجد هذا الوضع في معظم

النباتات التابعة لهذه الفصيلة. وتضم هذه الفصيلة عدداً كبيراً من النباتات الاقتصادية ونباتات الزينة، ومن بينها نبات عباد الشمس (*Helianthus annuus*).

عباد الشمس :

نبات عشبي حولي ، يحمل أوراقاً كبيرة الحجم بسيطة بيضاوية ، ونورته هامة صفراء اللون تتجه ناحية الشمس ، وتبعتها في حركتها من الشروق إلى الغروب ، ولذلك أطلق على النبات اسم عباد الشمس . وتركب النورة من محور مفلطح ومحدب قليلاً ، يحمل نوعين من الزهيرات ، زهيرات شعاعية - وتقع في الخارج - وزهيرات أنبوية وتوجد بالداخل (شكل ٣٢٦) ،

(شكل ٣٢٦)



صورة قنطرة لنبات عباد الشمس

يحيط بالزهيرات جميعها من الخارج قلافة ، تتركب من عدد من القنابات
صغيرة الخضراء (شكل ٣٢٧ : أ) .

الزهيرة الشعاعية : تنشأ الزهرة الشعاعية (شكل ٣٢٧ : ج) في أبط
نابة شفافة ، وهي وحيدة التناظر ، أنثى عقيمة فوق متاعية .
الكأس : يمثلها نتوءان صغيران غالباً ، وفي بعض الأحيان ثلاثة
نتوءات .

التويج : يتركب من خمس بتلات ملتحمة على هيئة شريط (شكل
٣٢٧ : ج) . ينتهى بثلاثة أسنان ، تمثل ثلاث بتلات . أما البتلتان الباقيتان
نقد اختفتا .

الطلع : منعدم .

المتاع : ضامر ليس له قلم ولا مينم .

الزهيرة الأنبوبية : تخرج الزهرة الأنبوبية (شكل ٣٢٧ : ب) من إبط
نابة شفافة ، وهي منتظمة خنثى فوق متاعية .

الكأس : يمثلها نتوءان صغيران (شكل ٣٢٧ : ب ، هـ) .

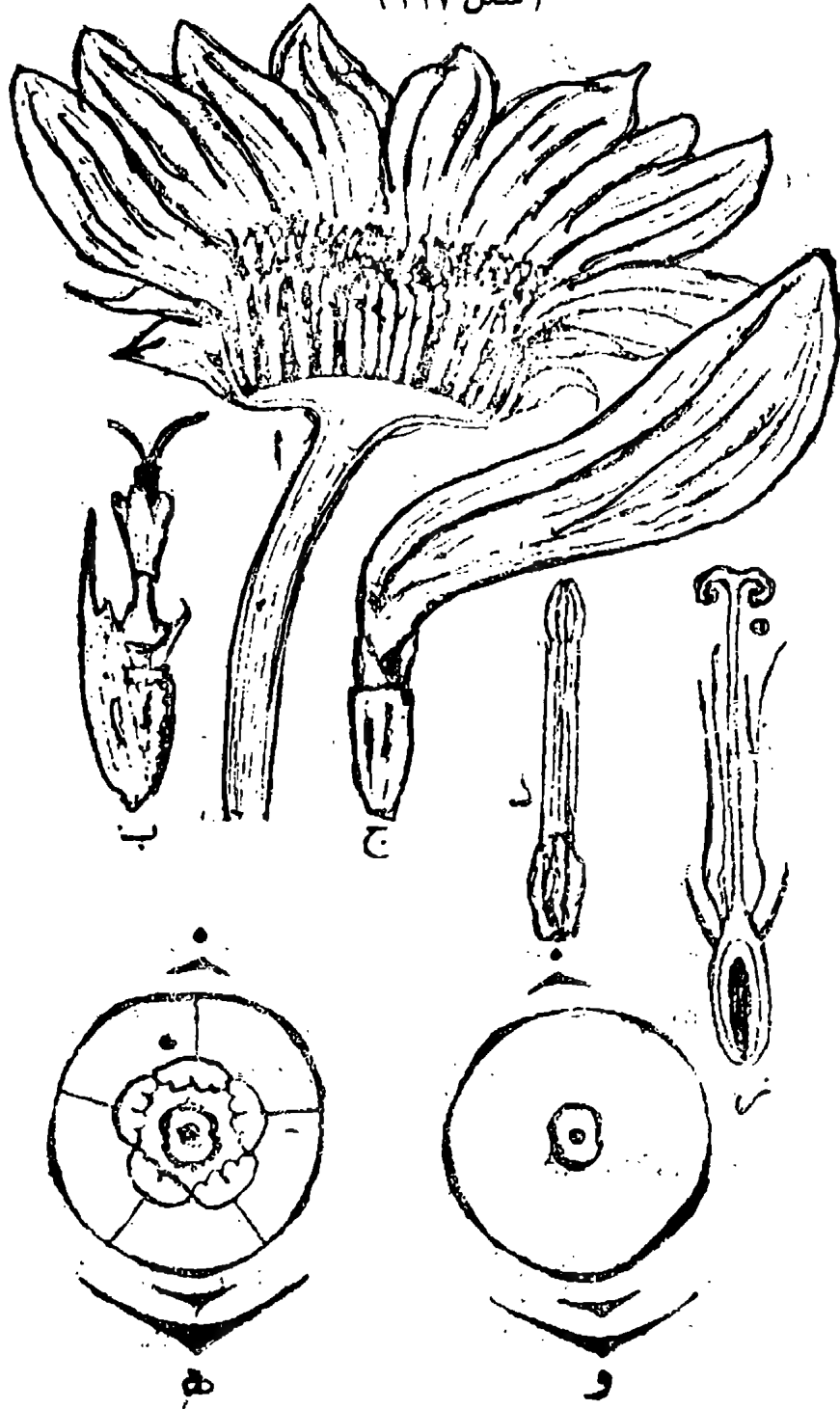
التويج : يتركب من خمس بتلات ملتحمة على هيئة أنبوبة .

الطلع : يتكون من خمس أسدية فوق بتلية ، خيوطها منفصلة ، وتتحدد
متوكها (شكل ٣٢٧ : د) لتكون أنبوبة حول القلم .

المتاع : يتركب من كربلتين ملتحمتين والمبيض سفلى واحد الغرفة ،
يحتوى على بويضة واحدة تنشأ على مشيمة قاعدية (شكل ٣٢٧ : ز) ،
ويعلو المبيض قلم ينتهى بميسمين ينطبقان داخل الأنبوبة المتكبة في الزهرة
حديثة السن ، ولكنهما في الزهرة البالغة ينبتان من الأنبوبة المتكبة . وينفرجان
ليعرضا سطحيهما العلوى لاستقبال حبوب اللقاح ، وذلك هو السطح الداخلى
الفعال ، الذى تستطيع عليه وحده أن تنبت حبوب اللقاح .

الثمرة : سببلاء

ويمكن تقسيم هذه الفصيلة إلى قسمين ، أو تحت فصيلتين ، تتميز
أحدهما عن الأخرى بما يأتى :



القانون الزهري - الزهرة الأنثوية. (١) فضاء طولي في الحامة، (ب) زهرة أنثوية، (ج) زهرة
شماعية، (د) الطلع في الزهرة الأنثوية، (هـ) سداة زهري للزهرة الأنثوية، (و) سداة زهري
للزهرة الشماعية، (ز) رسم تضاعفي فضاء طولى مركب من الوسطى للزهرة الأنثوية.

الوصف المركبة. عام الفس: (١) فضاء طولي في الحامة، (ب) زهرة أنثوية، (ج) زهرة
شماعية، (د) الطلع في الزهرة الأنثوية، (هـ) سداة زهري للزهرة الأنثوية، (و) سداة زهري
للزهرة الشماعية، (ز) رسم تضاعفي فضاء طولى مركب من الوسطى للزهرة الأنثوية.

- ١ — تحت الفصيلة الأنبوية (Tubuliflorae) : وفيها إما أن تشغل الزهيرات الأنبوية وسط الهامة أو الهامة جميعها ، وينعدم وجود المادة اللبنة .
- ٢ — تحت الفصيلة الشريطية (Liguliflorae) : وفيها تكون جميع الزهيرات شعاعية . وتوجد بها المادة اللبنة .

النباتات الاقتصادية : تضم هذه الفصيلة عدداً من النباتات نستغلها كثيراً في طعامنا وهي :

الخرشوف (Cynara scolymus) : يؤكل الجزء اللحمي من نورته قبل تفتح الزهرة .

الخس (Lactuca sativa) تؤكل أوراقه . وهناك نوع يعرف بنخس الزيت يستخرج من بذوره نوع من الزيت يستعمل في الطعام .

الطرطوفة (Helianthus tuberosus) تؤكل درناته الساقية ، كما أنها استغلت حديثاً لتحضير النشا تجارياً .

القرطم (Carthamus tinctorius) : يستخرج من بذوره زيت يعرف بالزيت الحلو ، يستعمل في صناعة الصابون ومواد الطلاء والطعام ، وتستخرج من بتلاته مادة تعرف بالعصفر (Carthamin) تستعمل في الصباغة .

ومن النباتات البرية التابعة لهذه الفصيلة نبات الشيكوريا (Cichorium intybus) والجعضيض والشبيط .

النباتات الطبية :

الشيح (Artemisia cina) تستعمل نوراته غير المنتفخة الجافة لطرد الديدان المعوية .

البيريثرم (Pyrethrum cinerariaefolium) : يستخدم مسحوق النورة الجافة كمبيد للحشرات .

نباتات الزينة : يتبع هذه الفصيلة بعض النباتات التي تستعمل في الزينة ، وذلك لجمال أزهارها ، ومن هذه النباتات : الداليا (Dahlia) والسنطوريا (Centaurea) ، والزينيا (Zinnia) والكريزانثم (Chrysanthemum) ، والأقحوان (Calendula) والأستر (Aster) .

القسم الرابع

وظائف الأعضاء

PHYSIOLOGY

100

101

الباب التاسع والعشرون

البروتوبلازم والحالة الغروانية

البروتوبلازم

ذكرنا في الباب السابع أن الخلية النباتية تتكون من كتلة بروتوبلازمية صغيرة يغلفها جدار خلوي رقيق . و بروتوبلازم (Protoplasm) الخلايا النشطة هو مادة شفافة لزجة قليلا ، محبة وغير متجانسة ، إذ تحتوي على عدد من التراكيب أهمها النواة والبلاستيدات ، أما بقية كتلتها فتعرف بالسيتوبلازم ، وهو سائل غرواني (Colloidal) لزج يشغل معظم الخلية في طورها الإنشائي ، أما عندما تصل الخلية إلى مرحلة البلوغ فإنها تكون قد زادت في الحجم كثيرا وتكونت فيها فجوة عصارية كبيرة تشغل الجزء المركزي من فراغ الخلية ، وتدفع كتلة السيتوبلازم إلى وضع محيطي يلي الجدار الخلوي مباشرة .

والسيتوبلازم سائل غرواني لزج ، ويمكن أن يستدل على سيولته - أو على سيولة البروتوبلازم عامة - من الشواهد التالية :

(أ) تأخذ القطرات المائية المنتشرة فيه شكلا كرويا .

(ب) إذا فحص السيتوبلازم خلال المجهر بقوة تكبير عالية فإن مابه من جسيمات صغيرة تشاهد في حركة تذبذبية ، تعرف بالحركة البراونية ، نسبة إلى مستكشفها روبرت براون (Robert Brown) عام ١٨٢٨ ، ويمكن تقدير درجة لزوجة السيتوبلازم بتقدير سرعة هذه الجسيمات .

(ج) إذا تعرض السيتوبلازم لهزة كهربية فإنه يتخذ شكلا كرويا

(د) في بعض الخلايا يشاهد السيتوبلازم في حركة انسيابية حول السطح الداخلي للجدار الخلوي ، ويشاهد الانسياب السيتوبلازمي في خلايا أوراق الإلودينا ، وكما زادت سرعة انسياب السيتوبلازم دل ذلك على نقص في درجة لزوجه .

وفي بعض الأحيان قد تتغير طبيعة السيتوبلازم من حالة السيولة إلى حالة أكثر صلابة - أي أكثر لزوجة - تبعاً لتغير الظروف المحيطة به . فسيتوبلازم الجراثيم الساكنة مثلاً ذو لزوجة عالية . وفي حالة متصالبة تقريباً ، ولكنه يأخذ في التحول إلى الحالة السائلة عندما تنبت هذه الجراثيم . وبالمثل تكون لزوجة السيتوبلازم في الخلايا الكامنة - كخلايا البذور - كلزوجة الجيلاتين المتصلب ، ولكنه بعد تشربه للماء وقت الإنبات يتحول إلى حالة سائلة ، التي يوجد عليها عادة في الخلايا النشطة . وتؤثر درجة الحرارة وتغير الحامضية والمواد الكيميائية في لزوجة السيتوبلازم ، ويمكن القول بوجه عام إن ارتفاع درجة الحرارة يصاحبه تناقص تدريجي في لزوجة السيتوبلازم ، فإذا ما ارتفعت درجة الحرارة عن ٥٥°م - وهي الدرجة المميتة - فإنه يتخثر سريعاً ، ومن ثم ترتفع درجة لزوجته .

ومع أن البروتوبلازم يبدأ كسائل بسيط إلا أن خواصه وقدرته على القيام بعمليات متعددة متباينة - من بناء وهدم وتكاثر ونمو وإحساس - تدل على أنه ليس مادة واحدة ، بل هو مجموعة معقدة من المواد .

وحيث أن البروتوبلازم يمثل مجموعة ديناميكية من المواد ، فليس من اليسير تحليله كيميائياً دون أن يسبب ذلك الإضرار به . ومن ثم - إذا توخينا الدقة في التعبير - فإن من الأسير معرفة المكونات الكيميائية للبروتوبلازم الحى ، وكل ما أمكن الوصول إليه هو استكشاف التركيب الكيميائي للمواد الموجودة في البروتوبلازم بعد إتلافه ، ونسبتها فيه . وقد أجريت معظم هذه الدراسات على أنواع من الفطريات المخاطية (Myxomycetes) ، وهذه الكائنات تتكون في أطوار معينة من حياتها - من كتل غارية من البروتوبلازم خالية تماماً من مادة الجدار الخلوي . وحتى في هذه الكائنات لا تعتبر كل مكونات جسم النبات أجزاء من البروتوبلازم ، إذ أن هناك دقائق من مواد غذائية وأخرى خاملة تنتشر في الكتلة البروتوبلازمية ، ولا يمكن فصلها عنها . ويبين (جدول ١٤) نتيجة التحليل الكيميائي للمادة الجافة لبلازموديوم الفطرية المخاطية .

جدول (١٤)

نتيجة التحليل الكيميائي لبلازموذيوم الفطرة المخاطية (عن ليبشكن ١٩٢٣)

المكون	نسبة مئوية من الوزن الجاف
(أ) مواد ذائبة في الماء ، وهي أساساً من الفجوات سكرات أحادية بروتينات أحماض أمينية وأميدات	١٤,٢ ٢,٢ ٢٤,٣
(ب) مواد عضوية غير ذائبة : وهي مكونات البروتوبلازم بروتينات نووية أحماض نووية جلوبيولينات ليبوبروتينات دهون متعادلة ستيرولات نباتية فوسفاتيدات مواد عضوية أخرى	٣٢,٣ ٢,٥ ٠,٥ ٤,٨ ٦,٨ ٣,٢ ١,٣ ٣,٥
(ج) مواد معدنية ، نصف ذائبة في الماء	٤,٤

والماء هو المكون الأساسي لبروتوبلازم الخلايا النشطة ، إذ تصل نسبته إلى ٩٠٪ أو أكثر ، وعلى العكس من ذلك تنخفض نسبة الماء في بروتوبلازم البنور الجافة إلى ١٠٪ أو أقل .

أما مادة البروتوبلازم الجافة فتحتوى على نسبة عالية من وزنها (٤٠٪) -
٦٠٪) بروتينات وغيرها من المركبات النيتروجينية كالأحماض الأمينية
والأميدات ، كما توجد نسبة أقل من المواد الدهنية ومنها الدهون الحقيقية
والفسفوليبيدات (Phospholipids) ، والمواد الكربوهيدراتية - من سكرات
وعديدات تسكر - والأملاح المعدنية . ومعظمها فوسفات وكلوريد وكبريتات
وكربونات الماغنسيوم والصوديوم والكالسيوم ، وأخيراً توجد نسبة ضئيلة
من مواد أخرى تختلف من خلية إلى خلية . وبدى أن هذه المواد غير الحية -
إذا مزجت بنفس النسب التي توجد بها في البروتوبلازم - فإنها لا تكون مادة
حية مطلقاً . وعلى ذلك فتعزى ظاهرة الحياة في البروتوبلازم إلى الطريقة الغامضة
التي تنتظم بها هذه المواد داخل كتلته . فإذا تلف ترتيب هذه المواد أو اختل
كما يحدث عند التحليل الكيميائي للبروتوبلازم أو عند طحن الخلايا طحناً تاماً
أو عند معاملتها بمادة ضارة - فإن البروتوبلازم يفقد ظاهرة الحياة ، ولا تبقى
من خواصه غير الخواص الفيزيائية والكيميائية لمركباته .

ومعظم المواد الكيميائية التي يتكون منها البروتوبلازم تكون مع الماء
محاليل غروانية ، وأغلبها من النوع شبه المستحلب ، ويعزى إلى وجود هذه
المواد سلوك البروتوبلازم كمجموعة غروانية معقدة . ولما كانت خواص هذه
المجموعة وتركيبها من التعقيد بحيث لا يتحقق معها الإلمام بكل الصفات على
وجه التحقيق ، فقد أصبح من الضروري أن ندرس خواص مجموعات
غروانية مشابهة - وإن كانت أبسط تركيباً - وذلك حتى يمكن استنتاج
خواص البروتوبلازم .

الحالة الغروانية

في عام ١٨٦١ قام توماس جراهام (Thomas Graham) بعدد من
التجارب ، تمكن بواسطتها من تقسيم المواد إلى بلورية (Crystalloids)
وغروانية (Colloids) . فقد عرض محاليل بعض المواد لعملية الفصل الغشائي
(Dialysis) ، وذلك بوضع محلول المادة المراد اختبارها في وعاء من ورق

البارشمنت (Parchment paper) أو ورق الغزال ، ثم وضع هذا الوعاء بدوره في وعاءٍ يحتوي على المذيب النقي ، فلاحظ أن مجموعة من هذه المواد - مثل السكر وملح الطعام - تنتشر بسرعة خلال غشاء البارشمنت إلى المذيب ، وأن ثمة مجموعة أخرى - مثل النشا والجيلاتين والغراء - لا تنتشر أو على الأكثر تنتشر ببطء شديد . ولاحظ جراحام كذلك أن المواد التي تنتشر في يسر تبلور في محاليلها ، أما المواد الأخرى فلا تبلور ، مما دعاه إلى أن يطلق على المجموعة الأولى « بللوريات » وعلى المجموعة الثانية « غروانيات » وقد اشتق لفظ الغروانيات من « الغراء » ، لأنها إذا غابت مع الماء كانت محلولاً غروانياً مثالياً .

ولم يكن جراحام محققاً في هذا التمييز المطلق ، فقد تبين فيما بعد أن بعض المواد مثل حمض السيليسيك (Silicic acid) يمكن أن يكون إما محلولاً غروانياً أو محلولاً عادياً - أو على الأصح محلولاً حقيقياً - وذلك حسب طريقة تحضيرها .

من الخطأ إذن أن توصف مادة ما بأنها بللورية أو غروانية ، لأن البللورية والغروانية خاصتان تتصف بهما الحالة التي توجد عليها المادة ، ولذلك فمن الأفضل أن يطلق على مادة ما أنها في حالة بللورية أو في حالة غروانية .

والمحلول الغرواني هو أحد أنواع ثلاثة من المحاليل ، تعتمد في تكوينها على سلوك المادة في المذيب . وهذه المحاليل هي :

١ - المحلول الحقيقي (True solution) : وفيه تنجز المادة المذابة إلى أيونات أو إلى جزيئات دقيقة ، وفي كلتا الحالتين لا يمكن رؤية وحدات الذائب بأية وسيلة من وسائل الإبصار ، إذ أن قطرها لا يتعدى ٠,٠٠١ ميكرون (الميكرون = ٠,٠٠١ من المليمتر) . وهذا النوع من المحاليل ثابت لا ترسب دقائقه المنتشرة أبداً ، ومثله محلول ملح الطعام ومحلول سكر القصب في الماء .

٢ - المعلق والمستحلب (Suspension and Emulsion) : في كلتا الحالتين تنجز المادة إلى دقائق كبيرة يمكن رؤيتها بالمجهر العادي ، إذ يزيد قطرها

على ٠,١ ميكرون . وهذا النوع من المحاليل غير ثابت ، إذ سرعان ما تنفصل فيه دقائق المادة المنتشرة عن السائل المذيب فتترسب أو تطفو . ففي حالة الرمل المنتثر في الماء (معلق) يرسب الرمل في القاع بفعل الجاذبية ، أما في حالة الزيت المنتثر في الماء (مستحلب) فإن الزيت يطفو فوق الماء لخفته .

٣- المحلول الغرواني (Colloidal solution) : وهو حالة وسط بين النوعين السابقين . وفيه تتجزأ المادة المذابة إما إلى جزيئات كبيرة أو إلى مجموعات من الجزيئات المتحدة يتراوح قطرها بين ٠,٠٠١ - ٠,١ ميكرون ولا يمكن رؤية دقائق الغرواني بالمجهر العادي ، ولكن يمكن رؤيتها بطريقة خاصة سيرد ذكرها فيما بعد . والمحلول الغرواني ثابت ، أي أن حييائه المنتشرة في السائل لا ترسب من تلقاء نفسها . وحييات الغرواني من الكبر يمكن بحيث لا تنفذ خلال أغشية البارشمنت ، ولكنها تمر خلال ثقب ورق الترشيح . ومن أمثلة المحاليل الغروانية محلول الطمي المعلق بماء النيل ومحلول إيدروكسيد الحديدك ومحلول النشا في الماء .

والمحاليل الغروانية - كما اتضح مما سبق - تتكون من طورين ، طور مستمر (Continuous phase) وطور غير مستمر (Discontinuous phase) ، والطور الأخير عبارة عن حييات منتشرة يفصلها عن بعضها البعض الطور المستمر . ويطلق عادة على الطور المستمر - وهو الذي يقابل المذيب في المحلول الحقيقي - إسم « وسط الإنتثار » (Dispersion medium) ، كما يطلق على الطور غير المستمر - الذي يقابل الذائب في المحلول الحقيقي - إسم « الطور المنتثر » (Dispersed phase) .

تقسيم المحاليل الغروانية : تنقسم المحاليل الغروانية إلى قسمين رئيسيين :

١- غروانيات كارهة لوسط الانتثار (Lyophobic colloids) : أي التي لا توجد بها قابلية بين حيياتها المنتشرة ودقائق وسط الإنتثار . ومن أمثلتها غروانيات معادن الذهب والفضة والبلاتين والطين المعلق في ماء النيل ومحلول كبريتيد الزرنيخ الغرواني ومحاليل الإيدروكسيدات الغروانية للحديد والألومنيوم

وسائر المحاليل الغروانية لأملاح المعادن المعروفة ، وإذا كان وسط الانتثار لهذه الغروانيات ماء سميت كارهة للماء (Hydrophobic) . ويطلق أيضاً على الغروانيات الكارهة لوسط الانتثار « شبه معلقات » (Suspensoids) نظراً لما كان يعتقد من أن دقائق الطور المنتثر فيها تكون دائماً صلبة ، إلا أنه قد أمكن تحضير محاليل غروانية لها كل خواص « شبه المعلق » والطور المنتثر فيها سائل .

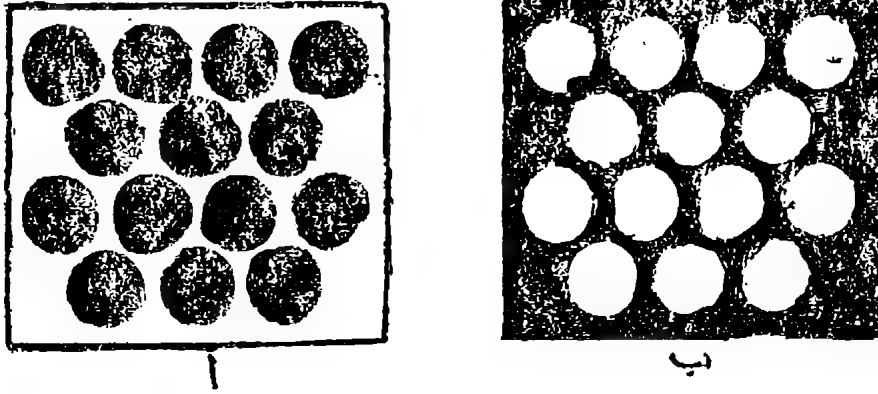
٢ - غروانيات محبة لوسط الانتثار (Lyophilic colloids) : وتتميز هذه الغروانيات بوجود قابلية شديدة بين حبيباتها المنتثرة ودقائق وسط الانتثار وإذا كان وسط الانتثار ماء سميت غروانيات محبة للماء (Hydrophilic) . ومن أمثلتها محاليل الغراء والجيلاتين والنشا والصمغ والبروتين . ويطلق أيضاً على هذا النوع من الغروانيات « شبه مستحلبات » (Emulsoids) ، وذلك نظراً لما كان يعتقد من أن دقائق الطور المنتثر فيها تكون سائلة دائماً . وفي هذا النوع من الغروانيات تغلف الحبيبات المنتثرة بأغشية من السائل المذيب تعمل بالإضافة إلى الشحنات الكهربائية على حفظ الغرواني ثابتاً .

الغروانيات المتصلبة وخواصها :

تتميز الغروانيات المحبة لوسط الانتثار بقدرة معظمها على التحول من الحالة السائلة (Sol) إلى حالة متصلبة نوعاً ما . فمثلاً إذا أذيت قطعة من الجيلاتين في الماء الساخن تكون محلول غرواني من الجيلاتين ، قوامه سائل ، فإذا ترك ليبرد فإنه يتجمد - إذا لم يكن مخففاً جداً - إلى غرواني هلامي (Gel) ، يعود إذا سخن إلى الحالة السائلة مرة أخرى . وهذا التحول العكسي هو نتيجة لانعكاس الأطوار في الغرواني ، بمعنى أن الطور المنتثر يصبح وسط انتثار وأن وسط الانتثار يصير طوراً منتثراً (شكل ٣٢٨) ، ففي حالة غرواني الجيلاتين السائل يكون الجزء الأكبر من وسط الانتثار (الماء) موجوداً في حالة طليقة تباعد بين حبيبات الجيلاتين المنتثرة ، أما عندما يتصلب غرواني الجيلاتين السائل بالبرودة فإن هذا الماء الطليق يتحول معظمه إلى أغلفة تحيط

بالحيبيات الغروانية التي تتقارب ويتصل بعضها ببعض في صورة شبكة تملأ عيونها قطرات منفصلة من الماء ، وفي هذه الحالة يكون الماء المغلف للحيبيات الغروانية في حالة غير حرة ، أى ماء مقيداً (Bound water) .

(شكل ٣٢٨)



الف-كاس الأطوار في الغروانيات : (١) غرواني سائل : (ب) غرواني منضاب ،
وبلاحظ أن الطور المنتشر في (١) - المثل بالدوائر السوداء - قد تحول إلى وسط انتثار
في (ب)

والغروانيات المتصلبة مألوفاً لنا جميعاً في الجيلي (Jelly) والبودنج (Pudding) ، ومن أمثلتها كذلك المنابت التي تستخدم في تزيين الفطريات والبكتيريا والطحالب .

على أن بعض الغروانيات المحبة لوسط الانتثار ليست لها القدرة على التصلب ، مثل بعض محاليل الصمغ والبروتين ، وفي بعض الأحيان لا يكون تحول بعضها من الحالة السائلة إلى المتصلبة عكسياً ، وأوضح مثل ذلك تصلب زلال البيض بالغليان ، فإذا برد ثانية فإنه لا يسيّل .

وتختص شبه المستحلبات المتصلبة بقدرتها على تشرب الماء ، لما تمتاز به حبيباتها من خاصية اجتذاب الماء وإحاطة نفسها بغشاء منه ، يزداد سمكه كلما زادت كمية الماء المتشرب ، وتتوقف قدرة الغرواني المتصالب على التشرب (Imbibition) على قوة تماسك حبيباته . فكأما كانت قوة التماسك صغيرة

زادت قدرة الغرواني على التشرب . فالجيلاتين مثلاً يتشرب الماء بدرجة كبيرة ، ثم لا يلبث أن تنتشر دقائقه في الماء مكونة غروانياً سائلاً ، وذلك لأن قوة تماسك دقائق الجيلاتين ضئيلة جداً . وعلى العكس فإن قطعة من الخشب - وهي غرواني متصلب أيضاً - تنتشر الماء بدرجة قليلة ، ولا تتحول مطلقاً إلى الحالة السائلة نظراً لقوة التماسك الكبيرة بين دقائقها الغروانية .

وفي بعض الأحيان تتناقص قدرة الغرواني المتصلب على التشرب كلما زاد عمره ، ومن ثم ينطلق بعض الماء حرّاً من الكتلة المتصلبة . وتلك ظاهرة تشاهد كثيراً في الجيلي والبودنج عندما تطول مدة حفظها ، وقد تحدث في الخلايا في مرحلة الشيخوخة ، فيزداد حجم فجواتها العصارية على حساب بروتوبلازمها .

بعض الخواص العامة للمحاليل الغروانية :

١ - الانتشار والفصل الغشائي : تتوقف سرعة انتشار مادة ما على حجم دقائقها ، ولما كانت حبيبات أو دقائق الغرواني كبيرة الحجم - إذا قورنت بدقائق المحلول الحقيقي - فإن انتشارها يكون أبطأ كثيراً ، وعندما يفصل بين محلولين بغشاء رقيق من الكلوديون أو البارشمنت أو السيلوفين فإن مرور الدقائق الكبيرة يقف في الوقت الذي يستمر فيه انتشار الدقائق الصغيرة فالمواد البلورية المثالية - مثل ملح الطعام - تمر خلال الثقوب الدقيقة لهذه الأغشية ، والجزيئات الكبيرة - مثل جزيئات أحمر الكونغو التي تمثل الحد الفاصل بين البلوريات والغروانيات - لا تستطيع النفاذ إلا إذا كان الغشاء أكثر مسامية ، أما الغروانيات المثالية - كزلال البيض - فلا تستطيع النفاذ إطلاقاً .

ويستفاد من هذه الخاصية عند تنقية المحاليل الغروانية مما يكون عالقاً بها من شوائب بلورية ، فيوضع لذلك المحلول المختلط في وعاء مفتوح سد أحد طرفيه بغشاء من ورق البارشمنت أو أى غشاء مناسب ، ثم يوضع هذا الوعاء في وعاء أكبر يحتوي ماء نقياً ، فتنشُر الجزيئات الصغيرة وأيونات المواد

البللورية ببطء خلال الغشاء إلى المذيب الخارجى ، أما دقائق الغروانى فتمنع من المرور لكبر حجمها بالنسبة لثقوب الغشاء ، فإذا تجدد الماء الخارجى مرات متتالية - أو وضع الوعاء بمحتوياته فى ماء جار - أمكن استخراج كل ما به من الشوائب الالكتروليئية ويبقى الغروانى بداخله نقياً ، ويطلق على هذه العملية « الفصل الغشائى » (Dialysis) ، أما الجهاز المستخدم فيها فيعرف باسم « جهاز الفصل الغشائى » (Dialyser) .

(شكل ٣٢٩)



جهاز الفصل الغشائى .
كما يجهز فى العمل

ويمثل الفصل الغشائى فى المعمل بتجربة يستخدم فيها جهاز مبسط (شكل ٣٢٩) ، يتكون من كيس من الكلوديون أو السيلوفين يوضع داخله مخلوط من محلول النشا الغروانى ومحلول كلوريد الصوديوم الحقيقى ، فإذا وضع هذا الكيس فى ماء نقى فإنه يلاحظ بعد مدة وجيزة أن ملح الطعام - نظراً لدقة أيوناته - قد انتشر من داخل الكيس إلى خارجه ، ويستدل على ذلك بمحلول نترات الفضة التى تكون مع كلوريد الصوديوم راسباً أبيض . أما النشا فيبقى داخل الكيس . وإذا عومل المحلول الخارجى بمحلول اليود فى يوديد

البوتاسيوم فإنه لا يظهر اللون الأزرق الذى يتلون به النشا عندما يعامل بمحلول اليود .

٢ - اللزوجة : يقصد بلزوجة (Viscosity) سائل ما مقاومته الانسياب ، فكلما كانت درجة لزوجة السائل عالية قلت قدرته على الانسياب فزالال البيض مثلاً أكثر لزوجة من الماء ، ولذلك فهو أقل منه استعداداً للانسياب . ولزوجة الغروانيات الكارهة لوسط الانتثار قلما تختلف اختلافاً ملموساً عن لزوجة المذيب . أما الغروانيات المحبة لوسط الانتثار فهي - على النقيض من الأولى - ذات لزوجة تزيد دائماً على لزوجة وسط الانتثار ،

وتزداد لزوجة الغرواني المحب لوسط انتشاره زيادة كبيرة إذا زيد تركيز المادة المنتشرة ، إذ أن زيادة هذه الأخيرة تقلل من كمية الماء الطليق ، وهذا بدوره يقلل من سيولة الغرواني ، ومن ثم يرفع من لزوجته .

وتتأثر لزوجة السائل والغروانيات بتغير درجة الحرارة ، فانخفاض درجة الحرارة يرفع اللزوجة بوجه عام . وقد سبق أن ذكرنا أن غرواني الجيلاتين السائل يتحول إلى غرواني هلامي أكثر لزوجة بالتبريد .

٣ - ظاهرة تندال : إذا سلطت حزمة من ضوء قوى على أحد جوانب وعاء زجاجي يحتوي ماء نقياً ، ثم فحص الوعاء في اتجاه جانبي متعامد مع اتجاه مرور الحزمة الضوئية . فإنه لا يمكن إدراك مسار الضوء خلال الماء . ويحدث مثل ذلك إذا استبدل بالماء في الوعاء محلول حقيقي كمحلول السكر أو محلول ملح الطعام . أما إذا ملئ الوعاء بمحلول غرواني - وعلى الأنخص من النوع الكاره لوسط الانتثار - وسلط عليه ضوء جانبي قوى ، ثم فحص بالطريقة السابقة ، فإن النتيجة تكون مختلفة تماماً ، إذ يظهر مسار الأشعة ويتحدد بمنطقة قائمة خلال الغرواني ، وحتى المحاليل الغروانية التي تبدو شفافة للعين المجردة ترى كدرة بعض الشيء إذا تعرضت لنفس المعاملة . ويشبه ذلك ما يلاحظ عند مرور شعاع ضوئي خلال حجرة مظلمة أثر غبارها . وهذه الظاهرة - المعروفة « بظاهرة تندال » (Tyndall phenomenon) - تعزى إلى أن حبيبات الغرواني من الكبر بحيث تعكس أشعة الضوء الساقطة عليها ، وحيث أنه عند انعكاس الضوء في هذه الحالات تنحرف الموجات القصيرة (النهاية الزرقاء للطيف) بدرجة أكبر من انحراف الموجات الطويلة فإنه يحدث انفصال جزئي للطيف ، ولهذا السبب يبدو المحلول الغرواني - الذي يكون طوره المنتثر عديم اللون - أزرق باهتاً عند فحصه في مسار حزمة ضوئية قوية .

وقد أوحى ظاهرة تندال بفكرة المجهر الدقيق أو « الأتراميكروسكوب » (Ultramicroscope) ، ويجهز هذا المجهر بأن يضاء المحلول الغرواني

أو أية مادة أخرى يراد فحصها - بإضاءة جانبية (في اتجاه متعامد على أنبوبة المجهر) ، وذلك بواسطة حزمة ضوئية قوية تركز بواسطة مجموعة

(شكل ٣٣٠)



من العدسات المجمعة في نقطة داخل

مادة الفحص (شكل ٣٣٠) .

ويمكن عند فحص المحلول الغرواني

بواسطة هذا المجهر أن يرى مسار

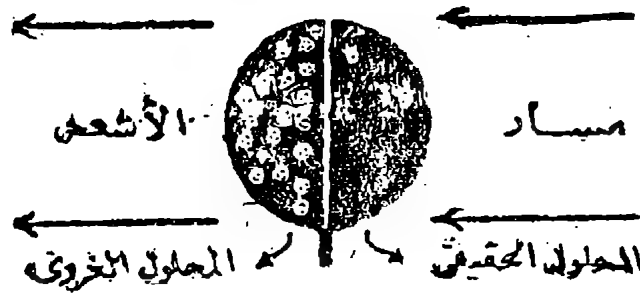
الضوء فيه مركباً من نقط ضوئية ،

منفردة لامعة ، متفاوتة الحجم

(شكل ٣٣١) ، تمثل كل نقطة منها شعاعاً ضوئياً منعكساً بواسطة إحدى

الدقائق الغروانية التي توجد بالمحلول .

(شكل ٣٣١)



الحقل الميكروسكوبي ، كما يبدو عندما تمر حزمة ضوئية في اتجاه متعامد على أنبوبة الميكروسكوب وليس فيها ، فإذا كان الضوء ماراً خلال محلول تام فإن الحقل يبدو مظلماً تماماً ، أما إذا كان ماراً خلال محلول غرواني ظهرت في الحقل الميكروسكوبي نقط لامعة مضيئة ، كما تظهر في الجانب الأيسر من الشكل .

٤ - الحركة البراونية : تشاهد النقط الضوئية التي ترى عند فحص

المحلول الغرواني بالمجهر الدقيق في حركة اهتزازية مستمرة سميت بالحركة

البراونية ، نسبة إلى مكتشفها روبرت براون (Robert Brown) . ففي

عام ١٨٢٨ شاهد هذا العالم من خلال المجهر أن حبوب اللقاح المعلقة في الماء

تتحرك حركة اهتزازية سريعة ، عزيت في بادئ الأمر إلى حيوية حبوب

اللقاح ، إلا أنه بفحص تمهيزات من حبوب اللقاح أو الجراثيم الميتة أمكن

مشاهدة نفس الحركة ، عندئذ اتضح أن هذه الحركة ليست مرتبطة بعمليات الحياة . وقد أصبح من المعروف الآن أن الدقائق التي لا يزيد قطرها على ٤ أو ٥ ميكرون تقوم بهذه الحركة عندما تكون معيقة في سائل . ومعظم المواد المعلقة التي تكون حبيباتها في مدى الرؤية المجهرية تتميز بالحركة البراونية ، فكثير من الأنواع الصغيرة للبكتيريا مثلاً تؤدي هذه الحركة عندما تعلق في الماء . وعلى العموم تكون هذه الظاهرة أكثر وضوحاً في الغروانيات الكارهة لوسط الانتثار منها في الغروانيات المحبة له ، وهي بالطبع لا تشاهد في المحاليل الحقيقية . وتتأثر الحركة البراونية بلزوجة السائل المنتثرة فيه الدقائق ، فكلما زادت اللزوجة كانت الحركة أبطأ ، وفي الغروانيات المتصلبة تتوقف الحركة تماماً . وإذا تساوت كتلة الدقائق المتحركة فإن أصغرهما حجماً تكون أسرع في حركتها البراونية ، وإذا تساوى حجم الدقائق فإن الأقل كتلة تكون أشد عنفاً في حركتها .

وتعزى هذه الحركة إلى دفع الدقائق المادية بجزيئات الوسط السائل . وحيث أن حركة جزيئات السائل ليس لها اتجاه ثابت فإن الدقيقة الصغيرة تنتقل من مكانها نتيجة لما تتعرض له من ضربات غير متساوية على جوانبها المختلفة . وقد يتغير اتجاه حركة الدقيقة ذاتها في اللحظة التالية إذا زادت الضربات عليها من جانب آخر غير الجانب الأول . أما إذا كانت الدقيقة كبيرة فإنها - دون شك - تتعرض لضربات عدد أكبر من الجزيئات في نفس الوقت . وهذه الضربات الاعباطية يعادل بعضها البعض تقريباً ، ولذلك تكون الحركة البراونية في هذه الحالة بطيئة أو معدومة . وارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى زيادة سرعة الحركة البراونية ، نظراً لزيادة الطاقة الحركية لجزيئات السائل المذيب من جهة ولانخفاض لزوجة الوسط السائل من جهة أخرى .

٥ - الخواص الكهربائية : تحمل الدقائق الغروانية على الدوام شحنات كهربية موزعة على السطح الكلي لهذه الدقائق . ففي بعض الغروانيات تكون

الشحنة التي تحملها الدقائق المنتثرة سالبة وفي بعضها الآخر تكون موجبة ،
إلا أن دقائق الغرواني الواحد تحمل كلها شحنة من نفس النوع .

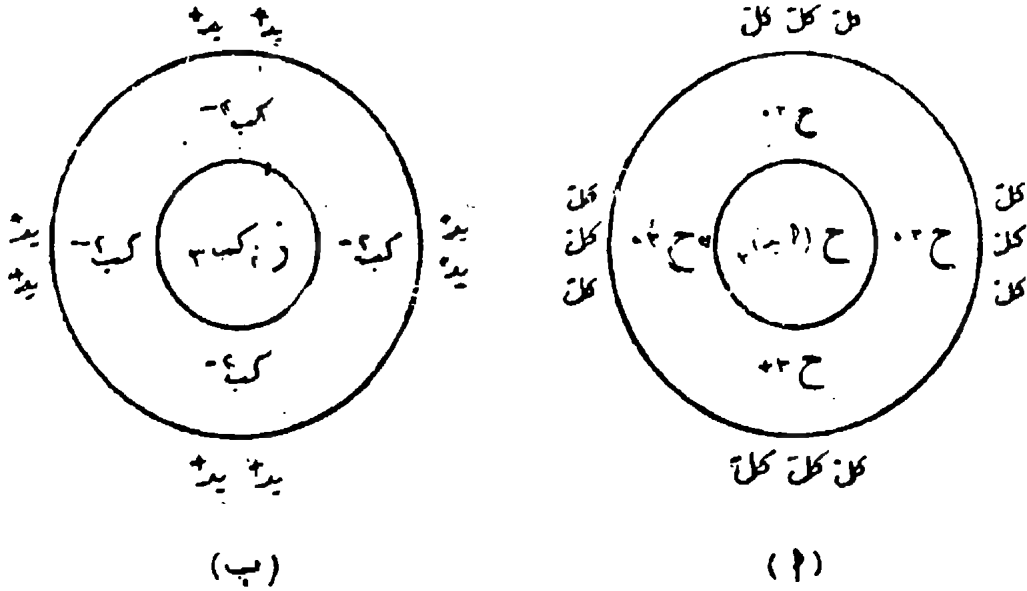
وعلى الرغم من الشحنات السالبة أو الموجبة التي تحملها دقائق الغرواني ،
فإن المحلول الغرواني يكون في مجموعه متعادل الشحنة ، وذلك لأن كل شحنة
تحملها دقيقة غروانية تقابلها شحنة مضادة مساوية لها تحملها أيونات موجودة
في وسط الانتثار ، أى أنه عندما تكون الدقائق المنتثرة سالبة الشحنة فإن
وسط الانتثار يكون موجباً والعكس بالعكس ، ومن ثم ينشأ تجاذب كهربى
بين الشحنات التي على سطح الدقيقة الغروانية وشحنات الأيونات التي توجد
في وسط الانتثار ، ويؤدى هذا التجاذب إلى أن تحاط كل دقيقة غروانية
بغلاف من الأيونات المضادة لها في الشحنة . ويعرف هذا النظام « بالطبقة
الكهربية المزدوجة » (Electric double layer) .

وتكتسب الدقائق الغروانية المنتثرة شحناتها الكهربائية إما بالتأين أو بالتجمع
السطحي . ففي بعض الغروانيات تنشأ الشحنات نتيجة لتأين بعض الجزيئات
المكونة للدقيقة الغروانية ، وتنطلق الأيونات السالبة أو الموجبة في وسط
الانتثار لتكون الغلاف الخارجى . وتحفظ الدقيقة الغروانية بالأيونات ذات
الشحنة المضادة ، وتتكون الشحنات الكهربائية على دقائق البروتين الغروانية
بهذه الطريقة .

وفي أنواع أخرى من المحاليل الغروانية تنشأ الشحنات الكهربائية نتيجة
لتجمع الأيونات السالبة أو الموجبة لمادة الكتروليتية على سطح الدقيقة
الغروانية ، فمثلاً الشحنة الموجبة التي تحملها دقائق إيدروكسيد الحديد
الغرواني تغزى إلى تجمع أيونات الحديد (ح⁺⁺⁺) الناتجة من تأين
كلوريد الحديد الذى يستعمل عادة في تحضير غرواني إيدروكسيد
الحديد ، أما أيونات الكلوريد فتكون الغلاف الكهربى الخارجى حول
الدقائق (شكل ٣٣٢) . وبالمثل تغزى الشحنة السالبة التي تحملها دقائق
كبريتيد الزرنيخ إلى تجمع كبريتيد الإيدروجين المستخدم في تحضير الغرواني ،

وينتج عن تفكك يدم ك ب انطلاق أيونات الإيدروجين في وسط الانتثار بينما تحتفظ الدقائق المنتثرة بالشحنة السالبة المتبقية (شكل ٣٣٢ ب) .

(شكل ٣٣٢)

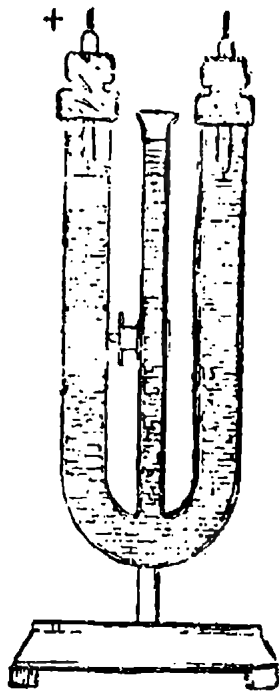


نرى في (أ) كمية اكساب الدقائق الغروانية لإيدروكسيد الحديد الشحنة الموجبة .
و في (ب) كمية اكساب الدقائق الغروانية لكبريتيد الزرنيخ الشحنة السالبة .

ويعتقد أن بعض المواد تكتسب شحناتها الكهربائية من تجمع أيونات الإيدروجين أو الإيدروكسيل - وغالباً الأخيرة - لوسط انتثارها المائي ، فبعض المواد الحاملة - مثل السليلوز والكربون والكلوديون - تكتسب عند ملامستها للماء شحنة سالبة ، مما يدل على تجمع أيونات الإيدروكسيل وبقاء أيونات الإيدروجين لتكوين الغلاف الكهربائي الخارجي .

ويمكن الاستدلال على وجود الشحنات الكهربائية على الدقائق الغروانية ، وكذلك نوع هذه الشحنات ، بإمرار تيار كهربائي بين قطبين من البلاتين ينغمسان في المحلول الغرواني (شكل ٣٣٣) ، عندئذ تتجه الدقائق الغروانية إلى القطب الكهربائي المخالف لشحنتها . فإذا كانت الدقائق الغروانية تحمل شحنة موجبة مثل إيدروكسيد الحديد فإنها تتجه إلى القطب السالب ،

(شكل ٣٣٣)



جهاز الحمل الكهربى ، حيث
يوضع الغروانى بوساطة ماصة فى قاع
الأنبوبة ، ثم تلاحظ حركة الدقائق
فى مجال كهربى .

أما إذا كانت شحنة الدقائق الغروانية سالبة
- مثل كبريتيد الزرنيخ - فإنها تتجه
إلى القطب الموجب . وتعرف حركة
الدقائق الغروانية عند وضع المحلول فى
مجال كهربى « بالحمل الكهربى »
(Cataphoresis) أو (Electrophoresis) .
ويتوقف نوع الشحنة فى بعض
الغروانيات - وخاصة البروتينات -
على تركيز أيون الإيدروجين فى وسط
الانتشار ، فهى موجبة فى وسط حامضى
وسالبة فى وسط أقل حموضة أو قلوئى ،
أى أنها ذات طبيعة مزدوجة
(Amphoteric) . والرقم الإيدروجينى
الذى يحدث عنده تعادل الشحنات
يسمى « بنقطة التعادل الكهربى »
(Isoelectric point) ، وعنده تتجمع
الدقائق الغروانية وترسب .

٦ - الترسيب : سبق أن ذكرنا أن ثبوت محاليل الغروانيات الكارهة
لوسط الانتشار يعزى إلى وجود الشحنات الكهربائية التى تحملها دقائقها .
فإذا عودلت هذه الشحنات فإن دقائق الغروانى تتجمع فى حبيبات كبيرة ،
تتفصل عن السائل المحيط بها ومن ثم يترسب الغروانى .

وترسب الدقائق الغروانية عادة بإضافة مواد إلكتروليزية . ويكفى لترسيب
حجم كبير من غروانى كاره لوسط الانتشار إضافة كمية صغيرة جداً من
مادة إلكتروليزية ويعزى الترسيب إلى تأثير الأيونات التى تحمل شحنة مضادة
لشحنة الدقائق . فمحلول الطمى الغروانى مثلاً يترسب بتأثير الكاتيونات
مثل (ص +) ، (كا + +) ، (لو + + +) ، أما إيدروكسيد الحديدك
الغروانى فيترسب بوساطة الأنيونات مثل (كل -) ، (كبا - -) ،

(فوا - - -) ، وتردد القوة الترسيبية للأيونات بازدياد تكافؤها ،
فالكاثيون ثلاثي التكافؤ (لو + + +) أقدر على ترسيب غرواني كبريتيد
الزرنينخ السالب الشحنة من الكاثيونات ثنائية التكافؤ مثل (كا + +)
و (ما + +) ، وهذه بدورها أقوى أثراً من الكاثيونات أحادية التكافؤ
مثل (بو +) و (ص +) . وفي حالة الدقائق الغروانية الموجبة وجد أن قوة
ترسيبها بأيونات (فوا - - -) ، (كب ا - -) ، (كل -) تكون
بنسبة ١٠٠٠ : ٣٥ : ١ .

وعند ترسيب الغرواني الكاره لوسط الانتثار لا تكون أيونات
الإلكتروليت المضاف التي تحمل شحنة مماثلة لشحنة دقائق الغرواني عديمة
الأثر ، بل إنها تعمل عادة على معادلة الأيونات المغلفة للدقيقة الغروانية .

ويمكن أن يحدث الترسيب بإضافة غرواني كاره لوسط الانتثار إلى
غرواني آخر من نفس النوع ، ولكن دقائقه المنتثرة تحمل شحنات مضادة
لما تحمله دقائق الأول . فإذا أضيف إيدروكسيد الحديديك الغرواني إلى
كبريتيد الزرنينخ الغرواني ببطء فإنه عند نقطة معينة يحدث الترسيب التام .
ويحدث نفس الشيء إذا أضيفت كمية كافية من غرواني سالب الشحنة
إلى آخر شحنته موجبة . وتعرف هذه العملية بالترسيب المتبادل (Mutual
floculation) .

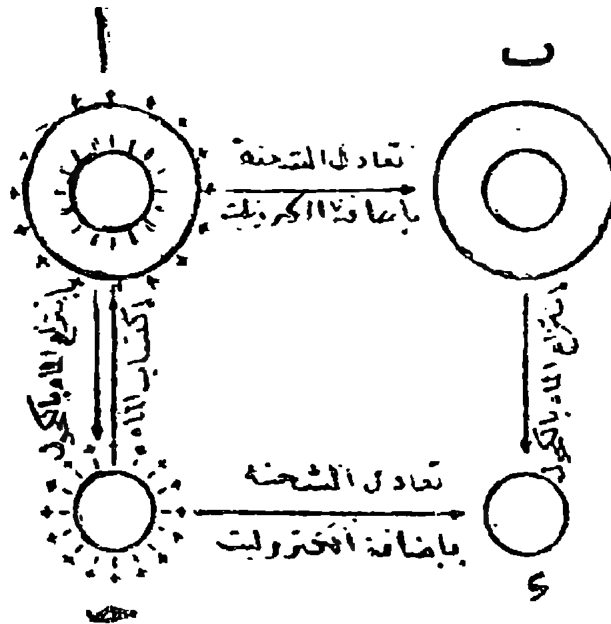
وإذا أضيفت كمية صغيرة من غرواني محب لوسط الانتثار إلى غرواني
كاره لهذا الوسط فإن ترسيب الأخير يصبح صعباً أو مستحيلاً ، فمثلاً إضافة
كمية من محلول الجيلاتين إلى غرواني معدن الذهب تكسبه مقاومة ملحوظة
لتأثير الإلكتروليتات ، ويعرف هذا التأثير بالفعل الواقي (Protective action)
وينتج عن تجميع دقائق الغرواني المحب لوسط الانتثار تجمعاً سطحياً حول
دقائق الغرواني الآخر .

وتختلف الغروانيات المحبة لوسط الانتثار عن الكارهة له في أن ثبوت
الأولى يرجع إلى عاملين : أحدهما الشحنة الكهربائية ، وثانيهما أغشية السائل

التي تغلف الدقائق الغروانية . ولهذا السبب يحتاج ترسيب هذه الغروانيات إلى التغلب على هذين العاملين ، لأن بقاء أحدهما كاف لإبقاء الغرواني ثابتاً . فإذا أضيفت كمية صغيرة من الكحول ، فإنها تنزع الماء المغلف للدقائق الغروانية ، ومن ثم تصبح خواص الغرواني مطابقة لخواص الغروانيات الكارهة لوسط الانتثار ، أي أنه يترسب عند إضافة كمية ضئيلة من مادة إلكتروليتيّة .

ويمكن أيضاً التغلب على عامل الثبوت إذا بدىء بإضافة إلكتروليت حتى تتعادل الشحنات على الدقائق الغروانية ، فإذا أضيف الكحول بعد ذلك إلى الغرواني حدث الترسيب فوراً نظراً لانزعاج الماء المغلف للدقائق . ويلاحظ أنه - على التقيض من الغروانيات الكارهة لوسط الانتثار - لا ترسب دقائق هذا النوع من الغروانيات بتعادل الشحنات التي تحملها بل تظل معلقة بفعل الأغشية السائلة المغلفة لها .

ويوضح شكل (٣٣٤) الخطوات التي تؤدي إلى ترسيب دقائق الغرواني المحب لوسط الانتثار . (شكل ٣٣٤)



ترسيب بدوئيه غروانية من النوع المحب لوسط الانتثار : (أ) تمثل دقيقة غروانية من النوع المحب لوسط الانتثار ، (ب) نفس الدقيقة بعد معادلة شحناتها (ج) دقيقة غروانية من النوع الكاره لوسط الانتثار ، (د) دقيقة مرسية .

وهناك مواد إلكتروليتيّة إذا أضيفت بكمية كبيرة إلى الغروانيات المحبة لوسط الانتثار فإنها تؤدي إلى ترسيبها ، دون أن يسبق ذلك انتزاع الماء بوساطة الكحول أو أى عامل مجفف آخر . ولا تصلح في هذه الحالة إلا الأملاح شديدة الذوبان ، مثل كبريتات الأمونيوم وكبريتات الماغنسيوم وكبريتات الصوديوم . فإذا أضيف محلول قوى التركيز لأحد هذه الأملاح الثلاثة فإنه يكون ذا أثر قوى مزدوج ، ذلك أن كمية ضئيلة منه تستخدم في معادلة الشحنات الكهربائيّة ثم تنتزع بقيته أغلفة الماء بشراهة نظراً لشدة تركيزها .

ومن الجدير بالذكر أن الغروانيات الكارهة لوسط الانتثار متى ترسبت لا يمكن إعادتها إلى الحالة الغروائيّة بالطرق الطبيعيّة ، ولذلك تسمى غروانيات عدم الانعكاس (Irreversible colloids) . أما إذا ترسبت الغروانيات المحبة لوسط انتثارها فإنه من الممكن أن تعود إلى الحالة الغروائيّة ثانية . وذلك بإضافة كمية جديدة من وسط الانتثار ، ومن ثم تعرف هذه الغروانيات بالغروانيات القابلة للانعكاس (Reversible colloids) .

ويستفاد من ظاهرة الترسيب في تجميع دقائق الطين الغروائيّة ذات الشحنة السالبة بإضافة أملاح الكالسيوم إلى التربة الطينية ، وبذلك تزداد مسامية التربة فتجود تهويتها وتصبح أكثر ملاءمة لنمو النبات بها ، كذلك تتكون دلتا الأنهار عند التقاء ماء النهر المحمل بالغرين بماء البحر الذي يحتوي على أملاح متأيّنة تعادل شحنات الطمي السالبة ، فيترسب الطمي وتنتج عن ترسيبه عما بعد عام دلتا النهر .

٧ - التجمع السطحي أو الامتزاز (Adsorption) : تتميز الطبقة السطحيّة لأية مادة بخواص طبيعيّة لا تشترك فيها بقية كتلة هذه المادة . والوتر السطحي (Surface tension) هو أحد الخواص الهامة ، ومن شأنه أن يجعل هذه السطوح كأنما تعاني شداً . وأكثر ما تكون هذه الظاهرة وضوحاً في السوائل الملامسة للهواء ، إذ تكون جزيئات الطبقة السطحيّة معرضة

لجاذبيات جانبية وأخرى نحو الداخل فقط تأتيها من جزيئات السائل المخاورة لها ، ويترتب على ذلك ميل لتقليل عدد الجزيئات عند السطح فتتضاءل مساحته حتى تصل إلى أقل حد ممكن ، وهذه الظاهرة تفسر لنا ميل قطرات السائل لاتخاذ شكل كروي .

وعندما يتلامس سائلان غير قابلين للامتزاج ، فإن السطح الفاصل بينهما يعاني توتراً يقال له « التوتر البيني » (Interfacial tension) ، وهو نتيجة لما تتعرض له جزيئات الطبقة السطحية لكل من السائلين من قوى جاذبية من جزيئات نفس السائل ومن جزيئات السائل الآخر ، ويكون الفرق بين هاتين القوتين معادلاً للتوتر البيني لسطح الانفصال .

وتؤثر المواد الذائبة في أى سائل في قيمة توتر سطحه الملامس لوسط آخر لا يمتزج به ، سواء كان غازياً أو سائلاً أو صلباً ، فإذا كانت المواد الذائبة من شأنها أن تخفض التوتر السطحي (كأغلب المركبات العضوية) فإن جزيئاتها تحل محل جزيئات السائل عند السطح الفاصل . وبذلك يصبح تركيز المادة المذابة فيه أعلى من تركيزها في بقية كتلة السائل . وتسمى هذه الظاهرة - وهي تجمع المواد الذائبة التي من شأنها أن تخفض توتر السطح البيني لصنفين لا يمتزجان كالماء والهواء أو الزيت والماء - بالتجمع السطحي أو الامتزاز (Adsorption) . ومن المشاهد المألوفة التي توضح هذه الظاهرة ما يلاحظ من تجمع رغوة الصابون عند السطح الفاصل بين الماء والهواء ، وذلك لكي ينخفض التوتر الذي يعانيه هذا السطح .

والدقائق الغروانية - رغم كبرها إذا قورنت بجزيئات المواد العادية - صغيرة جداً بالقياس إلى الدقائق الصلبة التي يمكن رؤيتها ، ومعنى ذلك أن المادة بتحويلها إلى الحالة الغروانية تزيد مساحة سطحها المعرضة لزيادة كبيرة وهذا يتبعه زيادة مماثلة في مساحة السطوح الفاصلة بين طورى الغروانى ، الأمر الذى يكسب الغروانيات قدرة كبيرة على التجمع السطحي .

ويمكن أن يتضح التجمع السطحي من التجربة البسيطة الآتية : إذا أضيفت كمية مناسبة من الفحم المنشط إلى محلول مخفف من أزرق الميثيلين ، ثم رشح الخليط ، فإن الراشح يكون عديم اللون . وتعليل ذلك أن أزرق الميثيلين قد تجمع تجمعاً سطحياً على السطوح الفاصلة بين الكربون والماء ، نظراً لأن قوة التجاذب بين جزيئات أزرق الميثيلين ودقائق الفحم أكبر من قوة التجاذب بين جزيئات الأول والماء . فإذا أضيف إلى الفحم في ورقة الترشيح قليل من الكحول الإيثيلي فإن معظم أزرق الميثيلين - إن لم يكن كله - يعود إلى الذوبان في الكحول ، وذلك لأن الكحول يجذب أزرق الميثيلين بقوة تفوق قوة جذب الكربون له ، أي أن الجزيئات المتجمعة سطحياً تنطلق عندما يحل الكحول محل الماء كالماء المشترك في تكوين السطح البيني

وتتميز بعض الغروانيات بامتزاز انتخائي (Selective adsorption) . أي أنها لا تجمع كل المواد بدرجة واحدة ، بل بدرجات متفاوتة تعتمد على الخواص النوعية لهذه المواد بالنسبة لسطح التجمع .

وتؤثر الشحنات الكهربائية في التجمع السطحي ، ويتضح هذا التأثير عند غمس شرائح من ورق الترشيح الخالي من الرماد في محاليل الأصباغ الملونة . والمعروف أن مادة هذا الورق تكتسب شحنة سالبة إذا نديت بالماء . فإذا غمست شريحة منه في محلول صبغ حامضي - كالإوسين (Eosine) - الذي تحمل أيوناته الملونة شحنة سالبة كذلك التي تحملها ورقة الترشيح ، فإن الماء يرتفع بالخاصة الشعرية خلال ورقة الترشيح حاملاً معه المادة الملونة ، إذ أنه نظراً لتشابه الشحنات لا تتجمع الأيونات الملونة تجمعاً سطحياً على مادة ورق الترشيح بل يحدث تنافر يجعلها تنتشر مع الماء تقريباً ، أما إذا غمست شريحة أخرى في محلول مخفف لصبغ قاعدي - كأزرق الميثيلين - الذي تحمل أيوناته الملونة شحنة موجبة ، فإن الماء يرتفع إلى مثل معدله في الشريحة الأولى وذلك بالخاصة الشعرية أيضاً ، أما المادة الملونة التي تخالف شحناتها شحنة ورق الترشيح فإنها تنجذب بقوة التجمع السطحي في منطقة التلامس ولا ترتفع مع الماء إلا قليلاً .

ولخاصة التجمع السطحي أهمية كبيرة بالنسبة للكائنات الحية . ويبدو أنها تشترك إلى حد ما في مختلف أنواع النشاط الخلوى . ففي الخلية النباتية يوجد الكثير من السطوح الفاصلة — كتلك التى توجد بين البروتوبلازم والجدار الخلوى وبين النواة والسيتوبلازم — ويحدث عند هذه السطوح دون شك تركيز للمواد الذائبة ، ومن المعتقد أن تجمع مواد معينة عند سطوح السيتوبلازم البينية تؤثر تأثيراً كبيراً على نفاذية السيتوبلازم ، كما يعتقد أن عمل الإنزيمات وغيرها من العوامل المساعدة يعتمد إلى درجة ما على ظاهرة التجمع السطحي . وسنعود لذكر هذه الموضوعات تفصيلاً فى مواضعها .

بعد هذا العرض الموجز لخواص المحاليل الغروانية يحسن بنا أن نلخص أوجه الخلاف فى الخواص المميزة لكل من الغروانيات الكارهة لوسط الانتشار والمحبة له ، ويتضح هذا التلخيص فى (جدول ١٥) .

الخواص الفيزيائية للبروتوبلازم

سبقنا الإشارة إلى أن البروتوبلازم مادة غروانية معقدة . وسط إنتثارها عبارة عن محلول مخفف لأملاح مختلفة وسكرات وأحماض أمينية ومواد بلورية أما الطور المنتثر فيتكون أساساً من دقائق البروتين التى تؤلف مع الماء محلولاً غروانياً شبه مستحلب يضاف على البروتوبلازم طابعه الخاص ، وإليه يعزى كثير من خواص البروتوبلازم الفيزيائية .

والتجمع السطحي هو إحدى هذه الخواص التى يتميز بها البروتوبلازم ويتضح ذلك عندما توضع الخلايا الحية فى محلول مخفف لمادة ملونة كأزرق الميثيلين ، إذ ينتشر اللون إلى الداخل ، وبعد مدة تصبح شدته فى الخلايا أكبر منها فى المحلول الخارجى ، ويعزى ذلك — دون شك — إلى أن الصبغ قد تجمع تجمعاً سطحياً على السطح الداخلى للبروتوبلازم . والمعتقد أن المواد الموجودة فى محلول التربة تتجمع بطريقة مماثلة على بروتوبلازم الشعيرات الجذرية وغيرها من الخلايا .

جدول (١٥)

بعض أوجه الخلاف في الخواص المميزة للغروانيات الكارهة لوسط الانتثار (غرواني معدن الذهب ومحول الطمي في الماء) ، والمحبة له (محلول النشا في الماء)

غروانيات كارهة لوسط الانتثار	غروانيات محبة لوسط الانتثار	
لا توجد قابلية بين الدقائق الغروانية والسائل المذيب .	توجد قابلية شديدة بين الدقائق الغروانية والسائل المذيب .	١
لا تختلف لزوجتها كثيراً عن لزوجة السائل المذيب .	لزوجتها أعلى عادة من لزوجة السائل المذيب .	٢
يعزى ثبوتها إلى الشحنات الكهربية المتماثلة التي تحملها دقائقها .	يعزى ثبوتها إلى عاملين هما أغشية السائل المذيب التي تغلف دقائقها والشحنات الكهربية التي تحملها هذه الدقائق .	٣
شديدة الحساسية للكميات الصغيرة من المواد الإلكتروليتية	حساسيتها للمواد الإلكتروليتية ضعيفة إلا إذا أضيفت مادة مجففة نزع أغشية السائل التي تغلف الدقائق .	٤
غروانيات غير قابلة للانعكاس	غروانيات قابلة للانعكاس	٥
تخضر عادة بطرق خاصة مثل تكثيف دقائق المادة إن كانت متناهية الصغر أو بتجزئتها إلى حبيبات أصغر إن كانت كبيرة .	تخضر بإضافة المادة إلى السائل كما في تحضير محلول النشا والصمغ الغروانيين .	٦
ذات طبيعة معدنية	ذات طبيعة عضوية عادة .	٧

وثمة خاصة أخرى تعزى إلى طبيعة البروتوبلازم الغروانية هي قدرته على التحول العكسى من الحالة السائلة (Sol) إلى الحالة الهلامية (Gel) . ويحدث هذا التحول فى الخلايا الحية نتيجة للتغيرات فى تركيز أيون الإيدروجين ودرجة الحرارة وغيرهما من العوامل ، ويمكن القول بوجه عام إنه فى درجات الحرارة المنخفضة (صفر ٥ م) يميل البروتوبلازم إلى الحالة الهلامية ، وفى درجات الحرارة المرتفعة نوعاً يميل إلى الحالة السائلة ، فإذا ارتفعت درجة الحرارة إلى ٥٠ م فإن جزئيات البروتين المكونة للبروتوبلازم تتجمع تجمعا غير قابل للانعكاس ، الأمر الذى يفضى إلى موت الخلايا ، وهذا هو الذى يسبب توقف التنفس والبناء الضوئى وغيرهما من أنواع النشاط الخلوى توقفاً تاماً فى درجات حرارة تزيد على ٥٠ م . وقد يحدث تجمع البروتوبلازم فى خلايا بعض النباتات بتأثير عوامل أخرى غير درجة الحرارة ، منها بعض المواد الإلكتروليتية والمؤثرات الكهربائية والميكانيكية وموجات معينة من الطاقة الإشعاعية ، مثل الأشعة فوق البنفسجية وأشعة إكس .

وفى البذور المستنبطة يتحول البروتوبلازم الهلامى الى صورته السائلة بتشربه للماء وقت الإنبات ، وينشأ عن تشرب الجنين للماء وانتفاخه ضغط يؤدي إلى تمزق قصرات البذور ، حتى ولو كانت بالغة القوة .

ومما تجدر الإشارة إليه أن طبيعة البروتوبلازم السائلة قد استمدت من مشاهدة الحركة البراونية لدقائقه المنتثرة ، وبرغم ذلك فإنه يجمع بين صفات المواد السائلة والمرنة بصورة غير مألوفة فى مثله من التراكيب ، فخيوط السيتوبلازم التى يشاهد فيها الانسياب البروتوبلازمى يمكن أن تبدى صفة المرونة (Elasticity) ، فسيتوبلازم الخلايا النباتية على سبيل المثال يمكن أن يسحب بإبرة بالغة الدقة إلى خارج الخلية على هيئة خيط طويل ، لا يلبث عند تركه أن يرتد إلى كتلة السيتوبلازم . ومع ذلك فالسيتوبلازم ليس ثابت المرونة ، ففى بعض الأحيان قد يكون لئناً أكثر منه مرناً . كما أنه عند السيولة العالية يفتقر إلى أى درجة من المرونة .

ويعزى ثبوت البروتوبلازم إلى الشحنات الكهربائية التي تحملها دقائقه البروتينية . ويتوقف نوع الشحنة على الرقم الأيوني للبروتوبلازم ، فهي موجبة إذا كان الرقم الأيوني في الجانب الحامض لنقطة التعادل الكهربى للبروتين ، وسالبة إذا كان الرقم في الجانب القلوى لهذه النقطة ، أى أن بروتينات البروتوبلازم ذات طبيعة مزدوجة ، تسلك مسلك الكاتيونات أو الأنيونات معتمدة في ذلك على تركيز أيون الأيونات في الوسط الذى توجد به .

ولما كان البروتوبلازم معقد التركيب فمن الأرجح أن يكون له مدى للتعادل الكهربى ، وقد قدر بعض الباحثين مدى التعادل الكهربى لبروتينات البروتوبلازم في قيم جذور عدد من النباتات ، ووجد أنه يتراوح بين ٤,٦ - ٥ ، ويقع الرقم الأيوني للبروتوبلازم عادة على الجانب القلوى لهذا المدى ، وعلى ذلك فمن المتوقع أن تكون شحنة دقائقه سالبة ، غير أنه قد تبين في بعض الأحيان أن دقائق البروتوبلازم تحمل شحنة موجبة عزيت إلى تراكم حمض الكربونيك في الخلايا .

وإذا تصادف - لأى سبب من الأسباب - أن اقترب الرقم الأيوني لمحتويات الخلية من نقطة التعادل الكهربى للبروتينات الموجودة فإن الأخيرة تتجمع وتنفصل عن المحلول ، ويتسبب عن ذلك نتائج وخيمة على حياة الخلية ، وليس من اليسير حدوث ذلك في البروتوبلازم لاحتوائه على مواد مثل أملاح السترات والفوسفات والحلات تعمل على تثبيت درجة حامضيته .

وفي كثير من الخلايا يشاهد البروتوبلازم في حركة نشيطة ، تكون في أبسط الحالات عبارة عن دورانه حول الجدار الخلوى من الداخل حاملاً معه البلاستيدات والدقائق المرئية . وأسباب الانسياب البروتوبلازمى غير معروفة وهو يزداد بارتفاع درجة الحرارة في المدى الذى تحتفظ فيه الخلايا بحيويتها ، ويتوقف تماماً في درجات الحرارة المنخفضة .

الأغشية البلازمية

تتميز معظم الخلايا النباتية بوجود جدار غير حي يحاذ كل خلية ، ويتكون هذا الجدار في بادئ الأمر بترسب مادة السليلوز على الصفيحة الوسطى ، ويسمى عندئذ بالجدار الابتدائي ، فإذا أخذت الخلية في النمو تزايد سمك هذا الجدار بما يترسب عليه من مادة السليلوز أو من مواد أخرى - كاللجنين والكيوتين والسوبرين - إما في حالة نقية أو مختلطة . ويعرف الجدار في هذه الحالة بالجدار الثانوي .

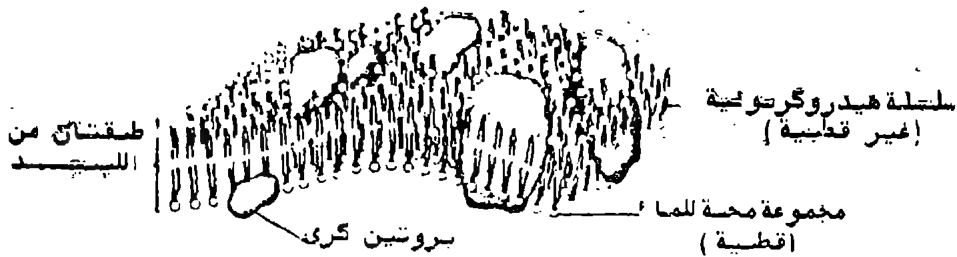
وبطن الجدار الخلوي غشاء بلازمي رقيق ، يتكون من مادة السيتوبلازم الحية ، ولذلك تختلف صفاته عن صفات الجدار الخلوي فبينما يسمح الأخير بمرور أغلب المواد الموجودة خارجه فإن الغشاء البلازمي يسمح لبعض هذه المواد بالمرور خلاله إلى داخل الخلية ولا يسمح للبعض الآخر . وحين تصل الخلية إلى مرحلة البلوغ يكون قد تكون فيها غشاء بلازمي آخر يغلف الفجوة العصارية حتى لا يختلط البروتوبلازم بالعصير الخلوي . وقد أطلق دي فريز (De Vries) على الغشاء البلازمي الخارجى لفظ إكتوبلاست (Ectoplast) وعلى الغشاء البلازمي الداخلى لفظ تونوبلاست (Tonoplast) .

وتبلغ هذه الأغشية البلازمية حداً من الرقة في السمك لا يمكن معه رؤيتها بالمجهر ، إلا أن هناك كثيراً من الأدلة التي تؤيد وجودها . وتعتمد بعض هذه الأدلة على استنتاجات نظرية ، أهمها أن السطح الخارجى للبروتوبلازم يمثل سطحاً فاصلاً تتجمع عليه بعض المواد التي توجد داخل البروتوبلازم أو خارجه ، ومن ثم تتكون عند سطح البروتوبلازم طبقة رقيقة تختلف عن بقية كتلته فيزيائياً وكيميائياً ، ويعتمد البعض الآخر من هذه الأدلة على مشاهدات عملية ، فقد أدت دراسة سيفريز (Seifriz) للبروتوبلازم بطريقة التشريح الدقيق إلى الاعتقاد في وجود أغشية بلازمية رقيقة خارج طبقة البروتوبلازم الشفافة في الفطريات المخاطية والأميبا ، كذلك فإن عدم انتشار البروتوبلازم في الماء عند نزعها من الخلية ووضعه فيه

يعزى بالدرجة الأولى إلى وجود غشاء سطحي يحتوي مادة شبيهة بالدهن لا تذوب في الماء ، وإذا مزق هذا الغشاء فإنه سرعان ما يلتئم ، وبالإضافة إلى ما سبق لاحظ تشامبرز (Chambers) عام ١٩٤٤ أنه عند حقن الخلايا النباتية بمحلول مائي لصمغ من الأصباغ فإن الصمغ ينتشر خلال البروتوبلازم ولكنه لا يستطيع النفاذ إلى خارج الخلية .

وحيث أن الغشاءين البلازميين ، ثلثان السطحين الفاصلين ، بين البروتوبلازم والجدار الخلوي المشبع بالماء من ناحية وبين البروتوبلازم والعصير الخلوي من ناحية أخرى ، فإنهما يتكونان نتيجة لتجمع البروتينات والليبيدات (مركبات دهنية معقدة) وغيرها من مركبات السيتوبلازم والأطوار المتصلة به (الجدار الخلوي المشبع بالماء والعصير الخلوي) ، التي من شأنها أن تخفض التوتر البيني بتجمعها تجمعاً سطحياً عند سطحي الانفصال الخارجى والداخلى . وعلى ذلك فالأغشية البلازمية تتكون من نفس مادة البروتوبلازم تقريباً ، ولكن بنسب خاصة أهمها تلك التي تعتبر الغشاء البلازمي متكوناً من أجزاء ليبيدية وأخرى بروتينية مرتبة بطريقة مبرقشة (Mosaic) ، وتتخلل هذين الطورين ثقبون ضيقة تسمح للجزيئات الصغيرة (كمجزيئات الماء) بالمرور خلالها . وأحدث النماذج المقترحة للغشاء البلازمي هو ذلك الذى وصفه سنجر ونيكولسن (Singer and Nicolson) عام ١٩٧٢ والموضح فى شكل (٣٣٥) ويطلق عليه النموذج الموزايكى

(شكل ٣٣٥)



النموذج الموزايكى السائل للغشاء البلازمي وتنفذ فيه طبقتان من الفوسفوليبيدات وتنتشر عند السطح وخلال الغشاء أجسام بروتينية كبيرة (عن ديفلين ووثام ١٩٨٣)

السائل (Fluid mosaic model) ويتكون فيه الغشاء من طبقتين سائلتين من الفوسفوليبيدات. بذيوهما الهيدروكربونية الكارهة للماء متجهة للداخل ورءوسهما المحبة للماء على سطحى الغشاء ، وينتشر بن الفوسفوليبيدات بروتين كرى فى صورة تشبه عدداً من كرات تنس الطاولة مختلفة الأوزان ومبعثرة فى بركة من سائل لزج . وقد يكون البروتين انزيمياً أو تركيبياً كما قد يختلف نوع الفوسفوليبيد بن أغشية الخلية المختلفة . وقد أمكن بهذا النموذج تفسير نفاذية الخلية للمواد المختلفة وسيأتى ذكر ذلك تفصيلاً فى باب النفاذية .

الباب الثالثون

الخاصة الأزموزية

إذا كان لدينا محلول يحتوى على ١٠ ٪ من وزنه سكر قصب و ٩٠ ٪ من وزنه ماء ، ووضعناه فى إناء ، ثم صببنا فوقه بعناية طبقة من الماء النقي (أى المكون من ١٠٠ ٪ ماء) ، فإنه تبعاً لقوانين الانتشار تنتشر جزيئات السكر من أسفل إلى أعلى ، أى من المحلول المركز إلى الماء النقي حيث يكون تركيز السكر صفرأ فى المائة . وتنتشر جزيئات الماء من أعلى إلى أسفل ، أى من المنطقة التى تحتوى على ١٠٠ ٪ ماء إلى المنطقة التى تحتوى على ٩٠ ٪ منه . أما إذا فصلت طبقتا السائلين بغشاء ، فإن ما سيحدث يتوقف على طبيعة هذا الغشاء ، فإذا كان الغشاء ذا ثقب واسعة تسمح لجزيئات المادة المذابة والمذيب بالمرور خلالها امتزج السائلان على حسب قوانين الانتشار العادية ، ومثل هذا الغشاء يسمى غشاء منفذاً (Permeable membrane) ، وإذا كان الغشاء غير مثقب على الإطلاق — كلوح من الزجاج مثلاً — بقى السائلان على حالهما دون أى امتزاج ، ويقال لمثل هذا الغشاء إنه غير منفذ (Impermeable) أما إذا كان الغشاء ذا ثقب صغيرة تسمح لجزيئات المذيب بالمرور خلالها ، على حين لا تسمح لجزيئات المادة المذابة بالنفاذ ، فإن جزيئات الماء تنفذ خلال الغشاء من طبقة الماء النقي إلى المحلول السكرى ، فإذا كان هناك ما يقاوم تلك الزيادة فى الحجم ، فإنه ينشأ عن ذلك ضغط على الجدر يطلق عليه اسم « الضغط الأزموزى » (Osmotic pressure) ، أما انتقال الماء خلال الغشاء فيطلق عليه « الخاصة الأزموزية » (Osmosis) ، وأول من شاهد هذه الخاصة هو آب نوليت (Abbé Nollet) عام ١٧٤٨ .

وعندما يفصل غشاء من النوع الأخير بين محلولين مختلفي التركيز من سكر القصب فإن الماء ينفذ خلال هذا الغشاء من المحلول الأقل تركيزاً إلى المحلول

الأكثر تركيزاً حتى يتساوى تركيز المحلولين على جانبي الغشاء ، أى أن الخاصة الأزموزية تهدف إلى إيجاد حالة اتزان على جانبي الغشاء . وحينما يشار إلى حركة المذيب عند دراسة الخاصة الأزموزية فإنه يقصد بذلك محصلة هذه الحركة ، إذ أن جزيئات السائل تتحرك عبر الغشاء في كلا الاتجاهين دائماً ، إلا أنه في كل وحدة زمنية يمر عدد من الجزيئات في أحد الاتجاهين أكبر مما يمر في الاتجاه الآخر ، وتكون محصلة الحركة دائماً من المحلول المخفف إلى المحلول المركز ، أى من المنطقة ذات الضغط الانتشارى العالى للمذيب إلى المنطقة ذات الضغط الانتشارى المنخفض له .

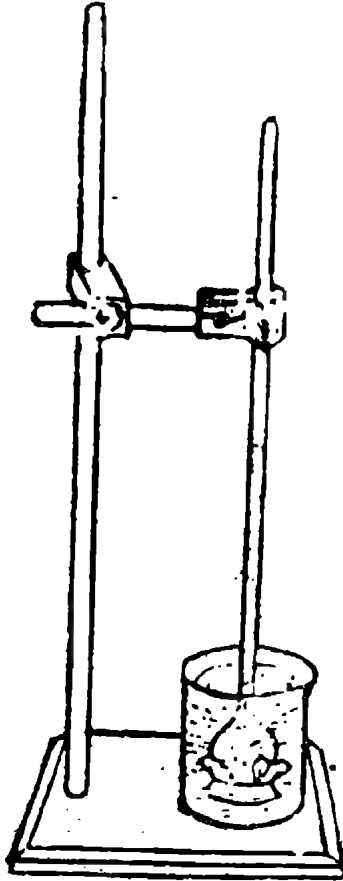
ويطلق على الأغشية التى تسمح لجزيئات المذيب بالمرور ولا تسمح لجزيئات الذائب لاسم « أغشية شبه منفذة » (Semipermeable membranes) منها ما هو طبيعى كأغشية الخلية وغشاء المثانة الحيوانى ، ومنها ما هو صناعى كورق البارشمنت والسيلوفين وغشاء الكلوديون . وفى الحقيقة يكاد لا يوجد غشاء شبه منفذ تام ، فكل هذه الأغشية المشار إليها تسمح بمرور بعض المواد خلالها بدرجات متفاوتة ، ولا تسمح لبعضها الآخر بالمرور ، ولذلك يحسن أن توصف بأنها أغشية ذات نفاذية تفاضلية (Differentially permeable membranes) .

أنواع الأجهزة الأزموزية الصناعية :

أبسط هذه الأجهزة وأكثرها تداولاً فى معامل الدراسة هو قمع ثيسل (Thistle funnel) وهو قمع ذو ساق طويلة يربط حول فوهته ربطاً محكماً غشاء من ورق البارشمنت أو غشاء من مثانة حيوان . فإذا وضع فى هذا القمع محلول مركز من سكر القصب ، ثم غمس فى ماء مقطر بحيث يكون سطح المحلول فى ساقه محاذياً لسطح الماء فى الخارج ، فإننا نلاحظ بعد مدة ارتفاع السائل فى ساق القمع (شكل ٣٣٦) ، مما يدل على انتشار الماء من الخارج إلى المحلول الداخلى بالخاصة الأزموزية . ويستمر الارتفاع لفترة من الزمن ، وإن كان معدله يتناقص باستمرار نظراً لانخفاض التركيز فى الداخل ، ويقف ارتفاع المحلول فى ساق القمع عندما يصبح الضغط الذى يبديه عمود المحلول

من القوة بحيث يكفي لدفع جزيئات الماء إلى الخارج بنفس السرعة التي تنتشر بها إلى الداخل .

(شكل ٣٣٦)



قمع تيل-ل-أوضح الخاضعة الأرموزية،
وبلاحظ ارتفاع المحلول في الساق،
نتيجة لاندفاع الماء من الخارج إلى الداخل.

وبعد أن يصل المحلول في ساق
القمع إلى أقصى ارتفاعه يبدأ في
الانخفاض . ويعزى ذلك إلى تسرب
بعض جزيئات السكر إلى الخارج
خلال الغشاء ذي النفاذية التفاضلية ،
وهذا - بالإضافة إلى ضغط عمود
السائل - يؤدي إلى انتشار جزيئات
الماء إلى الخارج ، فإذا بقي الجهاز زمناً
كافياً فإن عمود السائل يعود إلى سابق
مستواه ، وحينئذ يكون تركيز السكر
على جانبي الغشاء متماثلاً .

أما إذا كان الغشاء المستعمل لا يسمح
لجزيئات السكر بالمرور خلاله ، فإن
عمود السائل في ساق القمع يصل إلى
أقصى ارتفاع ممكن ، ولا ينخفض مطلقاً
إلا إذا فقد الغشاء طبيعته شبه المنفذة .

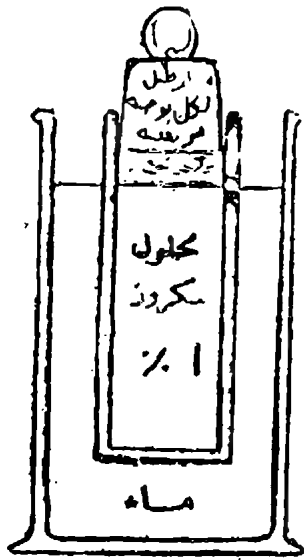
ومن أحسن نماذج الأغشية شبه
المنفذة غشاء حديدو سيانور النحاس

الذي اكتشفه تراوب (Traube) عام ١٨٦٧ ، ويحضر هذا الغشاء بوضع
بللورات من كبريتات النحاس في محلول مخفف من حديدو سيانور البوتاسيوم
فيترسب حول البللورات غشاء شبه منفذ من حديدو سيانور النحاس يسمح
مرور الماء من المحلول الخارجى المخفف إلى الداخل حيث تكون البللورة
محلولاً مركزاً . وينتج عن دخول الماء ضغط يسبب تمزق الغشاء في مكان
ضعيف منه ، ولا يلبث هذا الغشاء أن يلتئم بتكوين غشاء جديد حول الجزء

الذى تعرض من البللورة للمحلول الخارجى . وبعدها يعود الماء إلى الدخول مسيئاً تمزق الغشاء الذى يلتصق للمرة الثانية وهكذا ، وبعد مدة يكون قد تكونت على سطح البللورة زوائد برعمية كثيرة تأخذ في مجموعها شكلاً شجرياً .

ونظراً لقابلية هذا الغشاء للتمزق وعدم تحمله الضغوط الأزموزية العالية فقد فكر العالم الألماني فيفر (Pfeffer) — عام ١٨٧٧ — في ترسيبه في مسام وعاء

(شكل ٣٣٧)



« أداة الضغط الأزموزى الناقص »
من محلول ١٪ سكر في مسام وعاء
نقل يكفي لمنع مرور الماء خلال
الغشاء شبه المنفذ الذى يبدو مائلاً
النقط .

خزفي ، وذلك بأن ملأ وعاءاً مسامياً نظيفاً بمحلول من كبريتات النحاس (٢,٥ جم في اللتر) ثم غمسه حتى العنق في محلول من حديدو سيانور البوتاسيوم (٢,١ جم في اللتر) وتركه بضع ساعات ، فعندما يتلاقى المحلولان في مسام جدار الوعاء يترسب الغشاء الذى يظل رقيقاً نظراً لعدم إنفاذه لأملاح المحلولين ، ولكنه يتحمل ضغطاً عالية نظراً لحماية الجدار المسامى له . فإذا ملئ هذا الوعاء بمحلول مركز من سكر القصب ، ثم سدت فوهته بسدادة محكمة من المطاط تنفذ خلالها أنبوبة زجاجية ، ووضع في ماء مقطر ، فإن الماء ينفذ إلى داخل الوعاء بالخاصة الأزموزية ويسبب ارتفاع السائل في الأنبوبة الزجاجية حتى يصل إلى نقطة يظل ثابتاً عندها بضعة أيام ، وعندئذ يكون ضغط عمود السائل مساوياً للضغط الأزموزى لمحلول السكر .

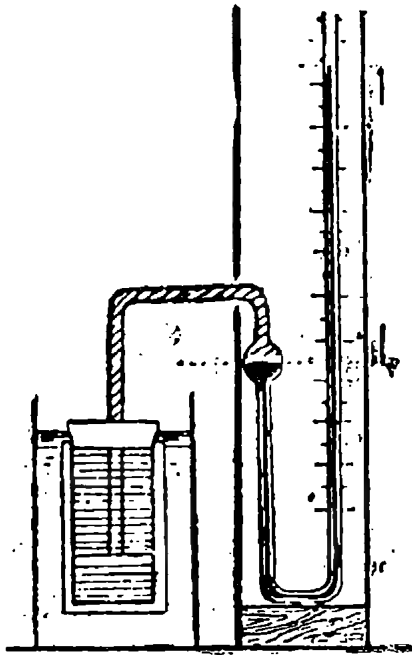
والضغط الأزموزى — شأنه شأن الضغوط الأخرى — يمكن موازنته بضغط آخر يعمل في الاتجاه المضاد ، فإذا وضع ثقل مناسب فوق المحلول الأصلي (شكل ٣٣٧) فإن دخول الماء بالخاصة الأزموزية يتوقف ، وأقل ثقل يمكنه أن يحول دون انتقال الماء يبدى ضغطاً إلى أسفل يعادل الضغط

والضغط الأزموزى — شأنه شأن الضغوط الأخرى — يمكن موازنته بضغط آخر يعمل في الاتجاه المضاد ، فإذا وضع ثقل مناسب فوق المحلول الأصلي (شكل ٣٣٧) فإن دخول الماء بالخاصة الأزموزية يتوقف ، وأقل ثقل يمكنه أن يحول دون انتقال الماء يبدى ضغطاً إلى أسفل يعادل الضغط

الأزموزى الذى يدفع الماء إلى الداخل ، فإذا كان المحلول يحتوى على ١٪ سكر قصب فإن الثقل اللازم يعادل $10\frac{1}{4}$ رطل لكل بوصة مربعة من سطح المحلول الخالص ، وهذا يساوى عموداً من الزئبق ارتفاعه ٥٣ سم ، وكلما زادت قوة المحلول زاد الثقل المطلوب زيادة نسبية .

وعلى ذلك فالضغط الأزموزى لأى محلول هو أقصى ضغط يمكن أن ينشأ فيه عند فصله عن المذيب النقي بغشاء شبه منفذ تام ، وهو يعادل الضغط اللازم لإحداثه على محلول ما لمنع دخول الماء إليه خلال غشاء شبه منفذ .

(شكل ٣٣٨)



جهاز لقياس الضغط الأزموزى .
يوضع المحلول في وعاء جزئى رطب
من مسامه غشاء شبيه جسيمات من حديد
صانور النحاس ، ووضع خارج الغشاء
النقى ، ويقاس الضغط الأزموزى بواسطة
المانومتر ، وهو أقصى ضغط يتأخر
(عن توماس) .

ولقد أثبت فيفر - باستخدامه
جهازاً كالـموضح فى (شكل ٣٣٨) الخاص
بالقياس الدقيق للضغوط الأزموزية
- أن الضغط الأزموزى لمحلول
ما يتناسب تناسباً طردياً مع تركيزه
ويوضح (جدول ١٦) نتائج إحدى
تجاربه فى تقدير الضغط الأزموزى
لمحاليل مختلفة التركيز من سكر القصب .

ولقد أوضح فانـت هوف (Van't Hoff)
أن سلوك المادة فى المحلول
يشبه إلى حد ما سلوك الغازات ،
فمن المعروف أن الوزن الجزيئى
لغاز مثالى يبدى ضغطاً قدره ٢٢,٤
ضغطاً جويّاً عندما يشغل حجراً قدره
لتر فى درجة الصفر المئوى ، كذلك إذا
أذيب الوزن الجزيئى للمادة لا تتأين فى
لتر من الماء فإنه يعطى ضغطاً قدره

٢٢,٤ ضغطاً جويّاً عند درجة الصفر المئوى . ولما كان الضغط الأزموزى .

يتوقف على عدد دقائق المادة في حجم معين من المحلول فإن المواد التي تتأين في الماء - كنيترات البوتاسيوم - تعطى ضغطاً أزموزية أعلى من القيمة المتوقعة وذلك لتفكك جزيئاتها إلى أيونات ، وعلى النقيض من ذلك تعطى المواد التي تتجمع جزيئاتها في المحلول (المواد الغروانية) ضغطاً أزموزية أقل كثيراً من القيمة المحسوبة .

(جدول ١٦)

الضغوط الأزموزية لمحاليل مختلفة التركيز من سكر القصب
عند درجة حرارة ثابتة (فيفر)

التركيز (جم في كل ١٠٠ جم من الماء)	الضغط الأزموزي (ضغط جوى)	الضغط الأزموزي = ثابت تقريباً التركيز
١	٠,٦٨٦	٠,٦٨
٢	١,٣٤٠	٠,٦٧
٤	٢,٧٥٠	٠,٦٨
٦	٤,٠٤٠	٠,٦٧

ولقد استخدمت طرق كثيرة - غير طريقة فيفر السابق ذكرها - لتقدير الضغط الأزموزي لمحلول ما ، أهمها الطرق المبينة على قياس الانخفاض في ضغط بخار المحلول أو الارتفاع في درجة غليانه أو الانخفاض في درجة تجمده عن درجة تجمد المذيب في حالته النقية ، ثم حساب الضغط الأزموزي من معادلة خاصة في كل حالة .

علاقة الخلية النباتية بالخاصة الأزموزية

الخلية كجهاز أزموزي :

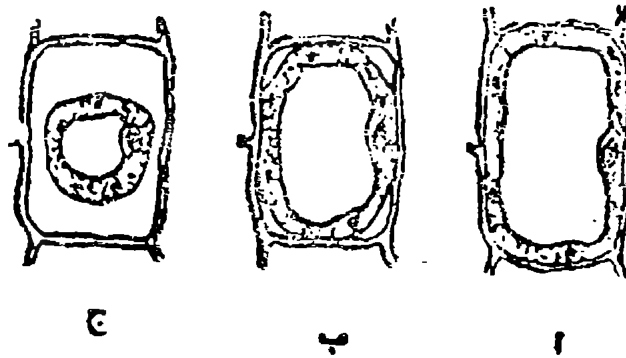
تعتبر الخلايا النباتية البالغة الحية أجهزة أزموزية ، إذ أن فجواتها العصارية الكبيرة ممتلئة بمحلول مائي لكثير من المواد كالسكريات والأحماض العضوية والأملاح المعدنية والعضوية التي من شأنها أن تزيد التركيز الأزموزي للعصير الخلوي . ويحيط بالفجوة العصارية في كل خلية طبقة رقيقة من

سينتوبلازم يحدها من الداخل والخارج غشاءان بلازميان يعملان - بالإضافة
لطبقة السينتوبلازم التي يحصرانها بينهما - كغشاء ذي درجة عالية من
نفاذية التفاضلية ، أما جدار الخلية السليلوزي فيعمل غالباً كغشاء منفذ ،
سمح للماء بالمرور بحرية تامة .

البلمة :

تتوقف الظواهر الأزموزية للخلية على درجة تركيز الوسط الخارجى ،
إذا وضعت خلية لها نفس التركيب السابق في محلول زائد التركيز (Hypertonic)
فى ضغطه الأزموزى أعلى من الضغط الأزموزى للعصير الخلوى - فإن الماء
ينتقل من داخل الخلية إلى خارجها ، وينتج عن ذلك نقص فى حجم العصير
الخلوى يتبعه إنكماش فى حجم الخلية ، ويفقد الجدار توتره ويرتخى . وإذا
استمر فقد الخلية الماء تقلص البروتوبلازم بعيداً عن الجدار الخلوى ، وبدا -
فى بعض الأحيان - ككتلة متكورة فى فراغ الخلية يفصلها عن الجدار جزء
من المحلول الخارجى . ويقال للخلية فى هذه الحالة إنها «متبلزمة» (Plasmolysed)
وتسمى الظاهرة «بلمة» (Plasmolysis) ، وعند نهاية البلمة يكون الضغط
الأزموزى للعصير الخلوى متعادلاً مع الضغط الأزموزى للمحلول الخارجى
ويبين (شكل ٣٣٩) التغيرات التي تحدث فى الخلية عند بلمتها .

(شكل ٣٣٩)



مفاتيح البلمة و الخلية : (ا) عند وضعها في محلول زائد التركيز ، (ب) بعد دقائق
قابلة من وضعها في محلول البقسما ، حيث بدأ البروتوبلازم ينكس عن الجدار الخلوى عند الأركان ،
(ج) نفس الخلية وقد ازداد تبلزها وانصابت حجوم جوفها الصارية .

وإذا بقيت الخلية على حالتها السابقة مدة طويلة ، فإنها تفقد قدرتها على العودة إلى حالتها الطبيعية عند وضعها في ماء نقي ، ولكن إذا أسرعنا بنقل الخلية المتبلزمة إلى الماء فإنها تستعيد امتلاءها ، إذ بدخول الماء إليها يزداد حجم العصير الخلوي ويعود البروتوبلازم إلى وضعه الطبيعي ، وهذا ما يعبر عنه « بتعادل البلزمة » (Deplasmolysis) .

ومما تجدر الإشارة إليه أن المحاليل زائدة التركيز لبعض الذائبات - كسكر القصب - تسبب للخلية بلزمة مستديمة ، على حين تسبب المحاليل المماثلة للجليسرين والبولينا بلزمة مؤقتة ، تتخلص منها الخلية بعد فترة وجيزة وهي ما زالت في المحلول المسبب للبلزمة . والسبب في ذلك أن جزيئات الماء تنفذ خلال الأغشية البلازمية بمعدل أكبر من نفاذية جزيئات أى مادة ذائبة فيه كذلك تنفذ جزيئات هذه المواد خلالها بدرجات متفاوتة ، فعند وضع الخلية في محلول الجليسرين مثلاً يخرج الماء من الخلية بدرجة أسرع من دخول جزيئات الجليسرين إلى فجوتها ، ويترتب على ذلك حدوث بلزمة مؤقتة يعقبها تساوى تركيز المادة في الداخل والخارج نتيجة دخول جزيئاتها إلى الفجوة ، وعلى ذلك تستعيد الخلية حالتها الطبيعية . أما عند وضع الخلية في محلول السكر فإن الماء يخرج منها وتحدث البلزمة كما في الحالة السابقة ، إلا أنه نظراً لبطء انتشار جزيئات السكر خلال الغشاء البلازمي فإن البلزمة تستمر مدة طويلة .

الضغط الأزموزي وضغط الامتلاء وقوة الامتصاص الأزموزية للخلية

النباتية :

لدراسة القيم الأزموزية للخلية النباتية نفترض وجود خلية بالغة منفردة ، إذا غمسنا مثل هذه الخلية في محلول له نفس تركيز العصير الخلوي - أى سوى التركيز (Isotonic) - تنشأ حالة من الاتزان الديناميكي ، وتكون محصلة الحركة المائية مساوية صفراً . أما إذا وضعت الخلية في ماء نقي (ضغطه الأزموزي يساوى صفراً) فإن الماء ينفذ خلال أغشيتها من الوسط الخارجي

- حيث تركيز الماء ١٠٠ ٪ - إلى فجوة الخلية حيث تركيز الماء أقل من ذلك وينتج عن هذا الامتصاص الأزموزى نقص فى تركيز العصير الخلوى وزيادة فى حجمه ، تسبب تمدد الطبقة البروتوبلازمية التى تضغط بدورها على الجدار الخلوى المرن ، ويقال للخاية فى هذه الحالة أنها فى حالة انتفاخ أو امتلاء (Turgor) ، كما يقال للضغط الذى تبديه محتويات الخاية على الجدار الخلوى وتعارض به دخول الماء إليها ضغط الامتلاء (Turgor pressure) ، وهذا الضغط يساوى دائماً فى القيمة - ولكنه يضاد فى الاتجاه - ضغط الجدار (Wall pressure) الذى يعارض زيادة الخلية فى الحجم .

فإذا رمزنا للضغط الأزموزى للعصير الخلوى بالحرف (ض) ، ولضغط الامتلاء بالحرف (م) ، فإن القوة التى يدخل بها الماء إلى فجوة الخلية تعادل (ض - م) ، ويطلق عليها قوة الامتصاص الأزموزية (Osmotic suction force) أو نقص الامتلاء (Turgor deficit) ، أو نقص الضغط الانتشارى (Diffusion pressure deficit "DPD") ، وسنستعمل فى شرحنا الاصطلاح الأول لوضوح دلالاته . فإذا رمزنا له بالحرف (ص) تكون :

$$ص = ض - م$$

هذا إذا كان الوسط الخارجى ماء نقياً ، أما إذا كان محلولاً له ضغط أزموزى معين فإن هذا من شأنه أن يقاوم دخول الماء الخلية ، أى يعمل جنباً إلى جنب مع ضغط الامتلاء ، وعلى ذلك إذا رمزنا للضغط الأزموزى للمحلول بالحرف (ض⁻) فإن قوة الامتصاص الأزموزية للخلية فى هذه الحالة تكون :

$$ص = ض - ض^{-}$$

$$= ض - (ض^{-} + م)$$

فإذا كانت قوة الامتصاص الأزموزية للخلية موجبة استمر دخول الماء إلى فجوتها ، وكلما دخلت كمية من الماء يزداد توتر الجدار ويزداد ضغط الامتلاء ، وحين تصل مرونة الجدار الخلوى إلى نهايتها القصوى يقف تبادل الماء بين فجوة الخلية والوسط الخارجى ، وتصبح الخلية فى حالة اتزان ، ويقال لها فى هذه الحالة إنها تامة الامتلاء (Fully turgid) .

وحيث أن قدرة الخلية على إمتصاص الماء (قوة الإمتصاص الأزموزية) عند الامتلاء التام تساوى صفراً . فإنه في هذه الحالة تكون :

$$\text{ض} = \text{ض}^- + \text{م}$$

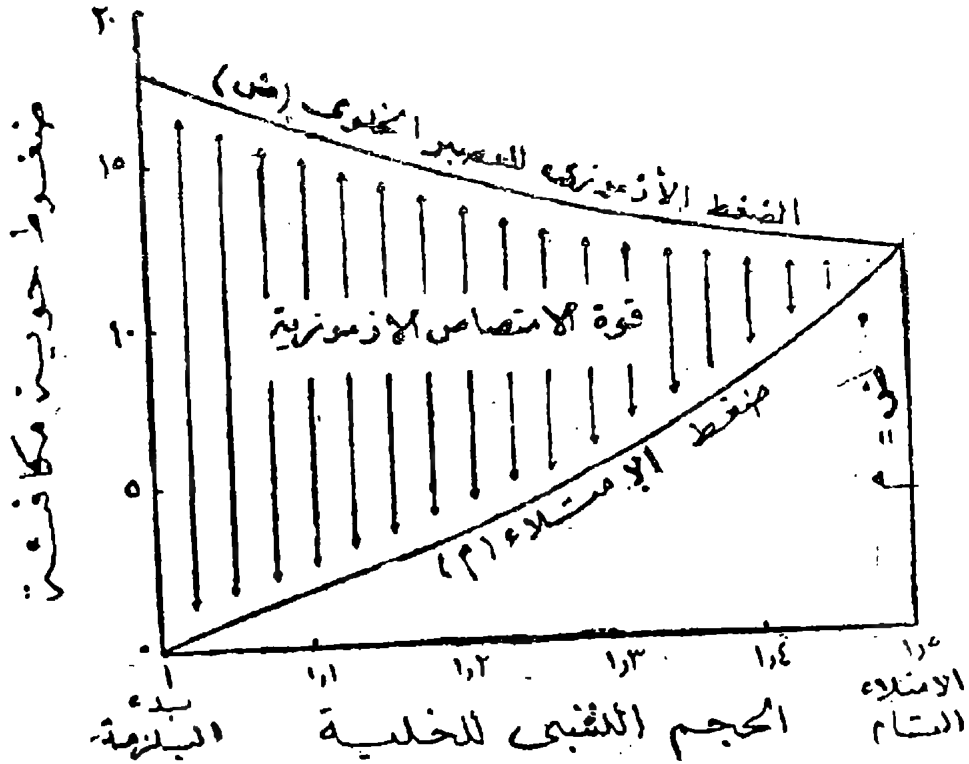
وإذا كان الوسط الخارجى ماء نقياً ، أى $\text{ض}^- = \text{صفراً}$ فإن :

$$\text{ض} = \text{م} \quad \text{أو} \quad \text{ض} - \text{م} = \text{صفراً}$$

أى أنه في حالة الاتزان تكون قوة الضغط الأزموزى للعصير الخلوى التى تدفع الماء إلى داخل الخلية متعادلة مع ضغط الامتلاء الذى يعارض دخول الماء إليها .

ويوضح (شكل ٣٤٠) التغيرات في قيمة الضغط الأزموزى وضغط الامتلاء وقوة الإمتصاص الأزموزية ، التى تصحب التغيرات في حجم الخلية . وتبدأ هذه التغيرات من حالة الارتخاء - حيث يكون ضغط الامتلاء مساوياً صفراً - إلى حالة الامتلاء التام حيث تكون $\text{ض} = \text{م}$.

شكل (٣٤٠)



العلاقة بين الضغط الأزموزى وضغط الامتلاء ، وقوة الإمتصاص الأزموزية والحجم الخلوى لمادة نباتية وصفت ومى عند بدء البذرة - أو بدء الإمتلاء - في ماء نقى حتى باتت حالة الامتلاء التام

التحركات المائية داخل النبات :

يتضح مما سبق أن دخول الماء إلى الخلية يتوقف على قوة الامتصاص الأزموزية بها وليس على قيمة الضغط الأزموزي لعصاريتها . وقد لا يكون لاختلاف الضغط الأزموزي دخل في انتقال الماء من خلية إلى أخرى ، إذ يحدث - تحت ظروف معينة - أن يمر الماء من خلية ذات ضغط أزموزي عال إلى أخرى ملاصقة لها ذات ضغط أزموزي

(شكل ٣٤١)

ض = ١٠	ض = ١٢
م = ٢	م = ٦
ص = ٨	ص = ٦

← اتجاه مرور الماء

(ب) (أ)

رسم تخطيطي لخليتين متجاورتين
(أ، ب) لبيان آلية حركة الماء من
خلية إلى خلية ، وهي تتبع كما يرى
قوة الامتصاص الأزموزية .

منخفض ، وذلك عندما يكون ضغط الامتلاء

للخلية الأولى أكبر منه للخلية الثانية. ويوضح (شكل ٣٤١) مثلاً لذلك ، ومنه يتبين أنه

على الرغم من أن الضغط الأزموزي للخلية (أ) أعلى من الضغط الأزموزي للخلية

(ب) إلا أن الماء لا ينتقل من (ب) إلى (أ)

كما كان متوقعاً ، بل ينتقل من (أ) إلى (ب)

لأن قوة الامتصاص الأزموزية للثانية أعلى

منها للأولى ، كما يتضح مما يلي :

الخلية (أ) : $\text{ص} = ٦ - ١٢ = ٦$ ضغطاً جويّاً

الخلية (ب) : $\text{ص} = ٢ - ١٠ = ٨$ ضغطاً جويّاً

ويستمر الماء في حركته المحصلة من (أ) إلى (ب) حتى تتساوى قوة الامتصاص الأزموزية لكل من الخليتين .

ومع أن الآلية الأزموزية هي التي تحكم معظم التحركات المائية داخل النبات من خلية إلى خلية ، إلا أن بعض التحركات المائية تحكمها في المقام الأول خاصة التشرّب (Imbibition) ، فالحلايا التي لا توجد بها فجوات عصارية أو ذات الفجوات العصارية الصغيرة - وكذلك الحلايا التي تحتوى على قدر كبير من الغروانيات المحبة للماء - يلعب التشرّب دوراً رئيسياً في انتقال الماء إليها . وكذلك عندما تفقد جدار خلايا النسيج الوسطى في الورقة

بعض مائها في عملية النتح ، إذ أن الماء ينتقل إليها من البروتوبلازم ، ثم ينتقل من الفجوة العصارية إلى البروتوبلازم ، وتستمر حركة الماء هذه طالما ظلت قابلية الجدار للتشرب أعلى من قوة الامتصاص الأزموزية للعصير الخلوى .

وقد لوحظ في المراحل الأخيرة لنمو البذور في لوزة القطن أن قوة امتصاصها الأزموزية تفوق ضغطها الأزموزى . وقد عزيت تلك الزيادة إلى كثرة المواد الغروانية القادرة على تشرب الماء في هذه البذور ، ولذلك لا يكون إنتقال الماء في هذه الحالة مقصوراً على الآلية الأزموزية بل يتعداها إلى ظاهرة التشرب أيضاً .

إذن فاحتواء الخلايا على مواد غروانية قادرة على التشرب يؤثر في انتقال الماء من خلية إلى خلية ، بطريقة تتفق أحياناً وتتعارض أحياناً مع الآلية الأزموزية .

تقدير الضغط الأزموزى للعصير الخلوى :

يستعمل في تقدير الضغط الأزموزى للخلايا والأنسجة النباتية طريقتا البلزمة وانخفاض درجة التجمد .

طريقة البلزمة : تستخدم في طريقة البلزمة شرائح مماثلة من أنسجة نباتية يسهل بالمجهر تتبع ما يحدث في بروتوبلازم خلاياها من تغيرات ، مثل قطاعات من جذر البنجر أو نخيوط طحلب السبروجيرا أو أوراق نبات الإلوديا . وتوضع هذه الشرائح في محاليل من سكر القصب متدرجة التركيز ، ويعتمد مدى التركيزات التى تستعمل على نوع نسيج القطاع المراد تقدير الضغط الأزموزى لعصيره الخلوى ، ويكون الضغط الأزموزى للأنسجة المذكورة عادة ما بين ٠.١ و ٠.٥ جزيئى . وتبقى الأنسجة مغمورة في المحاليل فترة تتراوح بين ٢٠ و ٣٠ دقيقة ، تفحص بعدها مجهرياً . فإذا شوهدت معظم خلايا النسيج متبلزمة كان معنى ذلك أن المحلول الخارجى أعلى تركيزاً من العصير الخلوى . أما إذا لم تشاهد في النسيج أية بلزمة كان المحلول الخارجى أقل

تركيزاً من العصير الخلوى . والمحلول الذى يسبب بلزمة مبدئية فى ٥٠ ٪ من الخلايا يكون ضغطه الأزموزى مساوياً لمتوسط الضغط الأزموزى لخلايا النسيج النباتى المستعمل .

ويحسن عند إجراء هذا التجربة فى المعمل أن تجرى على مرحلتين ، فتحضر محاليل من سكر القصب بتركيزات ٠,١ ، ٠,٢ ، ٠,٣ ، ٠,٤ ، ٠,٥ جزئى ، ويوضع فى كل منها شريحة من النسيج . فإذا أحدث المحلول ٠,٤ جزئى مثلاً بلزمة واضحة للخلايا فى حين لم تشاهد أية بلزمة فى الشريحة المغمورة فى المحلول ٠,٣ جزئى ، كان معنى ذلك أن المحلول سوى التركيز يتوسط التركيزين ٠,٣ و ٠,٤ جزئى . وعليه تحضر محاليل أخرى بتركيزات ٠,٣٢ ، ٠,٣٤ ، ٠,٣٦ ، ٠,٣٨ جزئى ، ويوضع فى كل منها شريحة أخرى من النسيج ، فالذى يسبب منها بلزمة مبدئية فى ٥٠ ٪ من الخلايا يكون هو المحلول سوى التركيز . وما تجدر الإشارة إليه أنه عند بدء البلزمة لا يكون هناك ضغط داخلى على الجدار الخلوى ، ومن ثم يكون ضغط الامتلاء مساوياً للصفر .

ولما كان الضغط الأزموزى للمحلول الجزئى لمادة غير الكتروليتية (ومنها سكر القصب) يعادل ٢٢,٤ ضغطاً جويًا فى درجة الصفر المئوى ، فإنه يمكن حساب الضغط الأزموزى للعصير الخلوى . فإذا فرضنا أن المحلول سوى التركيز كان عند الصفر المئوى ٠,٣٦ جزئى فإن الضغط الأزموزى للعصير الخلوى يكون $٠,٣٦ \times ٢٢,٤$ أو ٨,٠٦ ضغطاً جويًا .

ولما كان القياس لايجرى عادة عند درجة الصفر المئوى ، فإنه لابد من إجراء تصحيح بالنسبة لدرجة الحرارة التى أجريت عندها التجربة .

والقيمة المقدرة بالطريقة السابقة يطلق عليها اسم « الضغط الأزموزى » عند بداية البلزمة ، وهى عادة أعلى من الضغط الأزموزى الحقيقى للخلايا ، إذ أن البازمة يسبقها عادة نقص حجم الخلايا ، ويؤدى ذلك طبعاً إلى زيادة تركيز عصيرها الخلوى .

طريقة انخفاض درجة التجمد : أما تقدير الضغط الأزموزى بقياس الانخفاض فى درجة التجمد فيعتمد على أن الذائبات تخفض درجة تجمد الماء ويتناسب الانخفاض طرديا مع كمية هذه الذائبات فى المحلول . فإذا قدرت درجة تجمد المحلول أمكن تقدير تركيزه ، ومن ثم ضغطه الأزموزى . فإذا استخلص العصير من عينة نباتية وقدر الانخفاض فى درجة التجمد أمكن تقدير الضغط الأزموزى من المعادلة الآتية .

الضغط الأزموزى = $\frac{22,4}{1,86} \times (\text{الانخفاض المقدر فى درجة التجمد})$.
حيث أن ١,٨٦ هى قيمة الانخفاض فى درجة تجمد محلول جزئى من مادة غير متأينة .

تقدير قوة الامتصاص الأزموزية :

بما أن قوة امتصاص الخلية للماء تعتمد على الفرق بين الضغط الأزموزى لعصيرها الخلوى والضغط الذى يعارضه نتيجة لامتلائها (ض - م) فإنه يمكن تقدير هذه القوة بمعادلتها بالضغط الأزموزى لمحلول خارجى . بمعنى أن الضغط الأزموزى للمحلول الخارجى الذى لا يغير من حجم أو وزن الخلايا - بعد وضعها فيه لمدة كافية - يعادل قوة امتصاصها الأزموزى . إذ من المعروف أن المحلول الذى يزيد ضغطه الأزموزى على قوى امتصاص الخلية يسبب بلزمتها ، ومن ثم ينقص حجمها أو وزنها . وبالعكس يودى المحلول الذى يقل ضغطه الأزموزى عن قوة امتصاص الخلية إلى أن يزداد حجمها أو وزنها .

ويجب ألا توضع الخلايا المراد تقدير قوة امتصاصها الأزموزى فى الماء حتى لاتصل إلى حالة اتزان تصبح عندها هذه القوة مساوية صفراً .

ويجب الإشارة هنا إلى عدم الخلط بين الطرق التالية لتقدير قوة الامتصاص الأزموزية وبين طريقة البلزمة لقياس الضغط الأزموزى للعصير الخلوى .
ففى الطريقة الأخيرة يكون ضغط الامتلاء عند بداية البلزمة مساوياً للصفر ،

وعليه يكون المحلول الخارجى مساوياً فى تركيزه للمحلول الداخلى . أما طرق تقدير قوة الامتصاص الأزموزية فتتضمن البحث عن المحول الذى لا يحدث أى تغيير فى ضغط امتلاء الخلايا .

والطرق المستخدمة فى تقدير قوة الامتصاص الأزموزية هى .

١ - طريقة الشريحة أو الطريقة المبسطة (Strip or simplified method) :

فى هذه الطريقة تؤخذ شرائح ضيقة ذات أطوال مناسبة من الأوراق أو البتلات أو السيقان أو أعضاء التخزين وتعين أطوالها - وهى مغمورة فى زيت البرافين - بوساطة مجهر مجهز بمقياس ميكرومترى . ثم تنقل هذه الشرائح إلى محاليل من سكر القصب متتابعة التركيز ، وتبقى فيها فترة من الزمن حتى تحدث حالة اتزان فى كل محلول (من ٢٠ إلى ٣٠ دقيقة حسب نوع النسيج) ، وبعدها تقاس الأطوال مرة ثانية . فىكون الضغط الأزموزى للمحلول الذى لم يغير من طول الشريحة معادلاً لمتوسط قوة الامتصاص الأزموزية لخلايا الشرائح المستخدمة فى التجربة .

٢ - طريقة الوزن (Weight method) : وتستخدم فى تقدير قوة

الامتصاص الأزموزية لخلايا الأنسجة المتضخمة كدرنات البطاطس وجذور البنجر ، فيها توضع مجاميع مماثلة معلومة الوزن من أقراص تؤخذ من مثل هذه الأنسجة فى محاليل مختلفة التركيز من سكر القصب . وبعد مدة يقدر التغير فى وزن مجاميع الأقراص ، فىكون الضغط الأزموزى للمحلول الذى يظل وزن أقراص البطاطس فيه ثابتاً ممثلاً لمتوسط قوة الامتصاص الأزموزية لخلايا الأقراص .

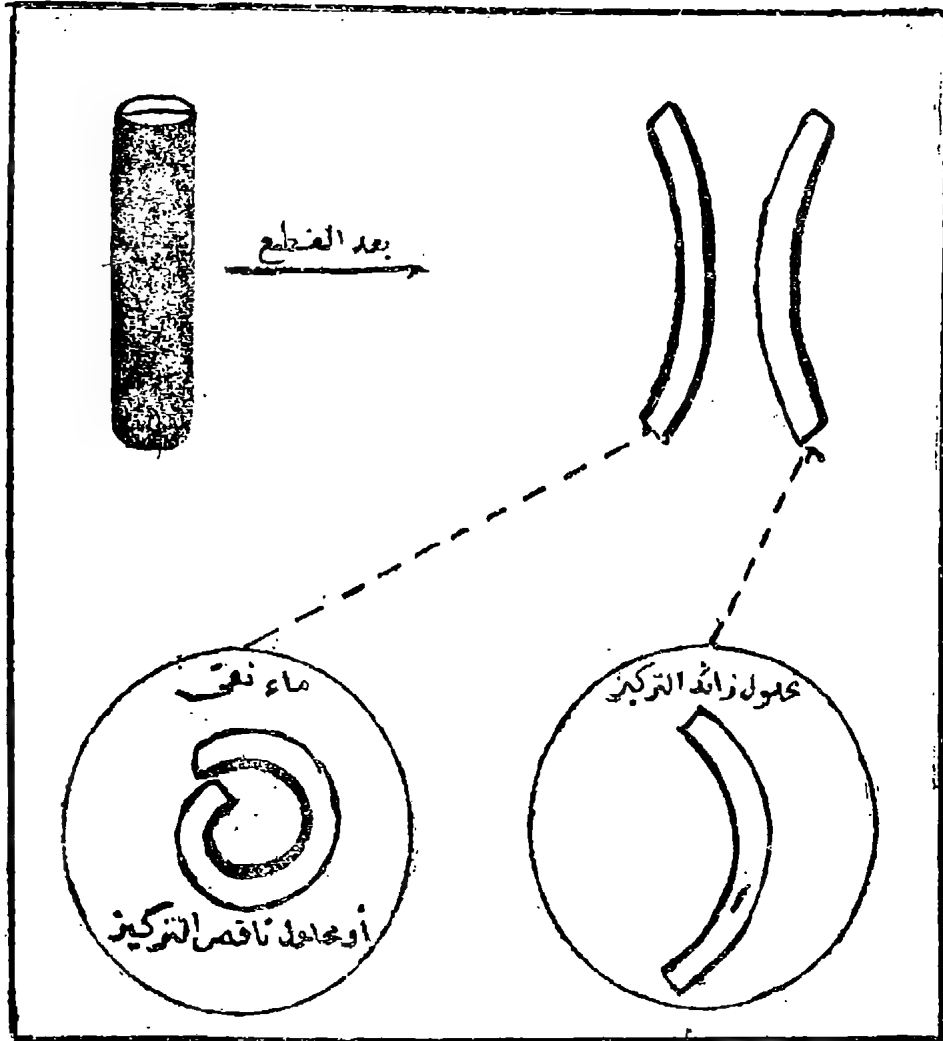
وقد وجد أن محلولاً من سكر القصب قوته ٠,٢٥ جزيئى لم يغير من وزن أقراص درنات البطاطس عند وضعها فيه ، وعلى ذلك تكون قوة الامتصاص الأزموزية لخلايا البطاطس مساوية ٠,٥ ضغطاً جويماً . وعند استعمال أقراص من جذور الجزر وجد أن قوة الامتصاص الأزموزية لخلاياها تعادل ١٧ ضغطاً جويماً .

٣ - طريقة التقوس (Curvature method) : وتعتمد على تتبع تقوس الأجزاء النباتية الغضة عند وضعها في محاليل مختلفة التركيز من سكر القصب ، فالضغط الأزموزي للمحلول الذي لا يتغير فيه تقوس الجزء النباتي يمثل متوسط قوة الامتصاص الأزموزية لخلاياه . وتتلخص الطريقة في تخير أعناق أوراق حديثة التكوين من نبات الخروج مثلاً (يمكن استعمال السويقة تحت الفلقية) ، ويلاحظ قبل قطع هذه الأعناق طولياً أن طبقة البشرة فيها مشدودة نتيجة ضغط خلايا القشرة والنخاع عليها ، وبعد شقها يتقوس كل جزء جهة الخارج قليلاً (شكل ٣٤٢) ، وذلك لزال الشد الذي كان واقعاً على البشرة نتيجة انطلاق الضغط الكامن بين خلايا القشرة والنخاع . فإذا وضعت هذه الأجزاء في محاليل السكر المختلفة التركيز فإن التقوس الأصلي يتغير تبعاً لتركيز المحلول الخارجى . فإذا كان ناقص التركيز انتقل الماء إلى الخلايا المعرضة من النخاع بقوة الامتصاص الأزموزية ، فيزداد حجمها ، ويتبع ذلك زيادة التقوس الأصلي في نفس اتجاهه (شكل ٣٤٢) . أما إذا كان المحلول الخارجى زائداً التركيز فإن خلايا النخاع تفقد الكثير من ماء عصيرها الخلوى فينقص حجمها ويقل تبعاً لذلك التقوس الأصلي ، وقد يتغير اتجاه التقوس كلية (شكل ٣٤٢) إذا أستر خروج الماء من خلايا النخاع . أما إذا كان تركيز المحلول الخارجى مساوياً لقوة الامتصاص الأزموزية لخلايا العنق فإن إنحناء الجزء النباتي يبقى ثابتاً ولا يتغير ويلاحظ أن خلايا البشرة أقل تأثراً بالمحلول الخارجى من الخلايا الأخرى نظراً لتأدها .

ولابحاد قوة الامتصاص الأزموزية في الطرق الثلاث - مقدرة بالضغط الجوى - تتبع نفس طريقة الحساب التي أشرنا إليها في تقدير الضغط الأزموزي للعصير الخلوى .

العوامل التي تؤثر على الضغط الأزموزي للخلايا النباتية :

١ - البيئة التي ينمو فيها النبات : يتغير الضغط الأزموزي للخلية بتغير



طريقة النفوس لقياس قوة الامتصاص الأزموزية . ويرى إلى أعلى جزءا الضيق بعد قطعه طوليا وقد نفوس كل منها إلى الخارج قليلا . وإلى أسفل يشاهد انعكاس النفوس الأصلي في أحد الجزئين بعد فترة من وضعه في محلول زائد التركيز ، بينما زاد هذا النفوس في الجزء الآخر بعد وضعه في محلول ناقص التركيز أو في ماء نقي .

تركيز الوسط الخارجي الذي يعيش فيه النبات ، ويكون التغير غالباً في نفس الاتجاه زيادة أو نقصا ولكن ليس بدرجة واحدة . فالضغط الأزموزية للفطريات والطحالب البحرية تزيد زيادة كبيرة إذا زاد تركيز الوسط الذي تنمو فيه . وقد وجد ماك كول وميلار (McCool and Miller) - عام ١٩١٧ - أن زيادة الأملاح في التربة ترفع الضغط الأزموزي للنباتات التي تعيش فيها ويوضح (جدول ١٧) نتائج إحدى تجاربهما على نبات النخلة . وتتميز هذه

الزيادة في الضغط الأزموزي للخلايا إلى زيادة امتصاص الأملاح وتراكمها من جهة ، وإلى تحلل المواد العضوية مثل النشا في خلايا الجذور عندما يقل دخول الماء إليها كنتيجة لزيادة تركيز الوسط الخارجى من جهة أخرى .

جدول (١٧)

تأثير الضغط الأزموزي لمحلول التربة على الضغط الأزموزي لجذور نبات الذرة

الضغط الأزموزي لجذور الذرة (ضغط جوى)	الضغط الأزموزي لمحلول التربة (ضغط جوى)
٤,٥٩	١,٢٢
٥,٤٨	١,٩٩
٦,٦٢	٣,٣٩
٧,٥١	٤,٩٦
٨,١٩	٧,٢٣

ويختلف الضغط الأزموزي لنباتات البيئات المختلفة ، فالضغوط الأزموزية لمعظم النباتات الوسيطة (Mesophytes) أقل منها في النباتات الجفافية (Xerophytes) . ولكنها أعلى من الضغوط الأزموزية للنباتات المائية (Hydrophytes) . وتقع الضغوط الأزموزية للنباتات الوسيطة عادة في المدى ما بين ٥ و ٣٠ ضغطاً جويًا . ويندر أن ينخفض الضغط الأزموزي في النباتات الراقية عن ٣,٥ ضغوط جوية .

والضغط الأزموزي للنباتات الملحية (Halophytes) عال نسبياً ، وذلك لأن التربة التي تعيش عليها غنية بالأملاح الدائبة ، وتمتص النباتات كمية كبيرة نسبياً من هذه الأملاح . وأعلى ضغط أزموزي سجل لأى نوع من النباتات هو ٢٠٢,٥ ضغطاً جويًا ، وقد وجد في أحد أنواع جنس الأتريبلكس (Atriplex confertifolia) الذى ينمو في تربة ملحية .

٢ - نوع النبات : قد يختلف الضغط الأزموزي الأنواع المختلفة من النباتات بغض النظر عن نموها تحت ظروف واحدة (هاريس (Hariss) - عام

(١٩٣٤) ، فالضغط الأزموزى لخلايا الأشجار يكون عادة أعلى منه لخلايا الشجيرات والأعشاب . ويقل الضغط الأزموزى فى الحوليات الشتوية عنه فى الأعشاب المعمرة ، كما يتضح من (جدول ١٨) .

جدول (١٨)

متوسط الضغوط الأزموزية لأنواع مختلفة من النباتات (حسب تقدير هاريس ولورانس) .

الضغط الأزموزى للعصير الخلوى (ضغط جوى)	نوع النبات
٢٨, ١	أشجار وشجيرات
٢١,٤٥	نباتات قزمية ونصف شجيرات
١٦,٣٥	اعشاب معمرة
١٤,٧٣	حوليات شتوية

وعند دراسة الضغوط الأزموزية للنباتات كاسيات البذور المتطفلة ، وجد أنها تفوق الضغوط الأزموزية للنباتات العوائل ، كذلك لوحظ أن الضغوط الأزموزية للنباتات العالقة (Epiphytes) منخفضة جداً ، إذ بلغت فى النباتات التى درست نصف قيمة الضغوط الأزموزية للنباتات العشبية تقريباً .

٣ - مكان الخلية أو النسيج فى النبات : أوضح كثير من الباحثين أنه كلما قرب مكان النسيج من مصدر الماء أنخفض الضغط الأزموزى للخلاياه . فالضغط الأزموزى فى الجذور أقل منه فى الأوراق عامة ، ويرتفع الضغط الأزموزى فى الأوراق كلما بعد مكانها عن مصدر الماء . فقد وجد أنه بينما يبلغ الضغط الأزموزى لأوراق نوع من جنس الزان (*Fagus grandifolia*) - يرتفع عن سطح الأرض ١٩ قدماً - ١٧,٣٣ ضغطاً جويًا فإنه يصل فى أوراق نفس النبات على ارتفاع ٦٤ قدماً إلى ٢١,٩٢ ضغطاً جويًا .

وقد تتفاوت الضغوط الأزموزية للأنسجة المختلفة التي تكون العضو النباتي الواحد ، فقد وجد أن الضغط الأزموزي يأخذ عادة في الارتفاع من التشرة إلى الأنسجة الداخلية في الورقة والساق والجذر .

٤ - عمر النسيج النباتي : لاحظ بعض الباحثين أن الضغوط الأزموزية للأوراق حديثة التكوين أعلى منها في الأوراق المسنة الموجودة على نفس الساق . كذلك لوحظ أن مناطق النمو في أنواع كثيرة من النباتات ذات ضغوط أزموزية أعلى منها في أنسجة التخزين المسنة أو الأوراق التي تستمد منها تلك الأنسجة الحديثة غذاءها ، إلا أن تشاندلر (Chandler) - عام ١٩١٤ - قد أوضح أن الضغوط الأزموزية للثمار التي لم تنضج بعد تقل عن الضغوط الأزموزية للأوراق التي تمدّها بالغذاء ، ولكن عندما تنضج هذه الثمار يرتفع ضغطها الأزموزي إارتفاعاً ملموساً لزيادة نسبة السكريات الذائبة في عصيرها الخلوي .

٥ - الأوقات المختلفة من اليوم أو العام : يختلف تركيز العصير الخلوي للخلايا النباتية من وقت لآخر طول اليوم . ففي الصباح الباكر يكون الضغط الأزموزي لخلايا الأوراق منخفضاً ويأخذ في الارتفاع حتى يصل إلى أقصاه في الساعات الأولى بعد الظهر ، ثم ينخفض تدريجياً بعد ذلك . ويعزى ارتفاع الضغط الأزموزي للخلايا أثناء النهار إلى زيادة نشاط البناء الضوئي - وخاصة وقت الظهيرة - وإلى نقص المحتوى المائي للخلايا نتيجة لعملية النتح .

وقد يتغير الضغط الأزموزي للنبات باختلاف فصول السنة ، فقد أوضح مارش - عام ١٩٤٠ - أن الضغط الأزموزي لبعض النباتات يصل في فصل نموها إلى ضعف قيمته في أوقات أخرى من العام .

الدور الذي تقوم به الخاصية الأزموزية في حياة النبات :

(أ) إن امتصاص الماء من التربة بوساطة الشعيرات الجذرية وانتقاله خلال خلايا النبات الحية ليس إلا عملية أزموزية .

(ب) تعمل الخاصة. الأزموزية على بقاء الخلايا النباتية في حالة امتلاء .
والخلية الممتلئة تكسب النبات صلابة ، وخاصة في الأجزاء التي لم تتكون فيها
الأنسجة الدعامية كمناطق النمو في الساق والجذر ، وتساعد هذه الصلابة الجذر
على اختراق التربة والساق على الاحتفاظ بقوامها . وليس هذا فحسب ، بل أن
الخلايا الممتلئة هي وحدها التي تستطيع أن تنمو وتنقسم وتقوم بسائر عمليات
التحول الغذائي .

(ج) تعمل الخاصة الأزموزية على توزيع الماء في جسم النبات ، فإذا
قل المحتوى المائي في نسيج ما فإنه نظراً لارتفاع ضغطه الأزموزي يسحب الماء
من نسيج آخر مجاور له يكون ضغطه الأزموزي منخفضاً .

(د) تزيد التركيزات الأزموزية العالية مقاومة النبات لدرجات الحرارة
المنخفضة والجفاف ، إذ أن زيادة تركيز العصير الخلوي من شأنه أن يخفض
درجة حرارة تجمدة ويقلل من فقد النبات للماء .

(هـ) ترتبط عملية انتفاخ الثغور وانغلاقها بتغير الضغط الأزموزي في
الخلايا الحارسة ، فارتفاع هذا الضغط يصاحبه انفتاح الثغور ، أما انخفاضه
فيسبب انغلاقها . وسيأتى ذكر ذلك تفصيلاً في باب تال .

الباب الحادى والثلاثون

نفاذية الخلية للمواد الذائبة

يمتص النبات النامى من الوسط الخارجى بعض المواد الذائبة فى الماء ، ويستفيد منها فى بناء جسمه وفى القيام بوظائفه الحيوية ، وامتصاص المواد الذائبة غير مرتبط بامتصاص الماء ، فكل منهما يتجه إلى حالة اتزان خاصة به .

وقد استعمل لفظ « النفاذية » للدلالة على مدى سماح أغشية الخلية لجزيئات أو أيونات المواد بالمرور خلالها ، إذ من المعروف أنه بينما يسمح الجدار الخلوى غالباً — وليس دائماً — بمرور الماء والأملاح الذائبة خلاله ، فإن الأغشية البلازمية تسمح للماء وبعض المواد الذائبة بالمرور خلالها وتعوق أو تمنع نفاذية بعضها الآخر أى أن الأغشية البلازمية تتميز بخاصة « النفاذية الانتخائية » (Selective permeability) .

وتنقسم المواد الكيميائية التى تنفذها الأغشية البلازمية إلى مجموعتين كبيرتين : تشمل المجموعة الأولى المواد التى لا تتأين فى الماء — كالسكر والكحول الإيثيلى والجليسرين والبولينا — وهذه تتبع فى نفاذيتها قوانين الانتشار البسيطة . أما المجموعة الأخرى فتشمل المواد التى تتأين فى الماء — مثل كلوريد البوتاسيوم ونترات الكالسيوم — وهذه لا تتبع فى انتشارها قوانين الانتشار البسيطة كما سيتضح فيما بعد ، إذ أن أيوناتها قد تراكمت داخل الخلية ، وفى بعض الأحيان يصل تركيز أيون ما داخل الخلية إلى أضعاف تركيزه فى الوسط الخارجى .

نفاذية الخلايا للمواد الذائبة غير القابلة للتأين :

تتبع هذه المواد فى نفاذيتها قوانين الانتشار البسيط ، بمعنى أنها تنتشر من الوسط الذى يكون تركيزها فيه عالياً إلى الوسط الذى يكون تركيزها فيه منخفضاً ، حتى يتساوى تركيزها داخل الخلية وخارجها .

ولقد قارن العالمان كولاندر وبارلوند (Collander & Barlund) - عام ١٩٣٣ - نفاذية خلايا طحلب كارا Chara لكثير من المواد غير القابلة للتأين وذلك بتقدير الوقت اللازم لكي يصل تركيز المادة داخل الخلايا إلى نصف تركيزها في الوسط الخارجي وحصولاً على النتائج المبينة بالجدول (١٩).

جدول (١٩)

معدل نفاذية بعض المواد في خلايا طحلب كارا (Chara)

(عن كولاندر وبارلوند عام ١٩٣٣)

المادة الذائبة في الوسط الخارجي	الوقت (بالدقيقة) اللازم لوصول تركيز المادة داخل الخلية إلى نصف تركيزها في الوسط الخارجي	توزيع المادة بين زيت الزيتون والماء كمية المادة في الزيت كمية المادة في الماء
الكحول الميثيلي	١,٣	٧٨ × ١٠ - ٤
اليوريا الميثيلي	١٩٠	٤,٤ × ١٠ - ٤
اليوريا	٣٢٠	١,٥ × ١٠ - ٤
الجليسرين	١٧٠٠	٠,٧ × ١٠ - ٤
السكروز	٤٢٠٠٠	قليل جداً

يتضح من هذا الجدول أن بعض المواد كالكحول الميثيلي تنفذ إلى داخل الخلايا بدرجة كبيرة ، على حين تنفذ مواد أخرى كالجليسرين والسكر في ببطء شديد . وقد عزى هذا التفاوت في نفاذية المواد غير القابلة للتأين إلى اختلاف قابليتها للذوبان في المواد الزيتية ، فالمواد التي لها درجة ذوبان عالية في الدهون هي التي تنفذ إلى خلايا الطحلب بسرعة كما هو واضح بالجدول ونظراً لما نعلمه من أن أغشية الخلية البلازمية تتكون أساساً من الليبيدات (Lipids) - وهي مواد دهنية معقدة - فإنه يصبح من السهل تفسير التفاوت في نفاذية مثل هذه المواد .

وترتبط درجة الذوبان في الزيت بالتركيب الكيميائي للمادة العضوية ، فالمواد التي تحتوى على مجموعات غير قطبية مثل الميثايل (ك يد٣) أو الإيثايل (ك يد٣ . ك يد٣) أو البنزين (ك٣ يد٣) لها درجة ذوبان عالية في الزيت ومن ثم تكون نفاذيتها أسرع من المواد التي تحتوى على مجموعات قطبية مثل الإيدروكسيل (ا يد) والكربوكسيل (ك ا ا يد) والأمينو (ن يد ٣) والألدهيد (ك يد ا) والتي لها درجة ذوبان منخفضة في الزيت .

وقد يكون التفاوت في معدل نفاذية هذه المواد راجعاً إلى اختلاف في حجم جزيئاتها ، فقد وجد أن الجزيئات الصغيرة أسرع نفاذاً من الجزيئات الكبيرة التي لها نفس درجة الذوبان في الدهن . ومن الأمثلة على ذلك أن سرعة إنفاذ خلايا طحلب كارا لمادة إيثيلين جليكول (ك يد٣ . ا يد . ك يد٣ ا يد) تفوق سرعة إنفاذها لمادة ميثايل يوريا (ن يد٣ . ك ا . ن يد . ك يد٣) رغم تساوى درجة ذوبانها في الزيت وذلك لأن جزيء المادة الأولى أصغر حجماً من جزيء المادة الثانية .

وقد كان ذلك يفسر في ضوء النماذج القديمة للأغشية البلازمية (كولاندر وغيره) باعتبارها مرشحات ليبيدية تضم ثقباً مائياً تسمح للمواد الصغيرة الجزيئات بالمرور خلالها . أما في ضوء النموذج الموزايكى السائلى والتي سبقت الإشارة إليه في الباب التاسع والعشرين . فإن جزيئات البروتين والماء المرتبط بها يمكن أن تمثل ثقباً محبة للماء (Hydrophilic holes) تنفذ خلالها الجزيئات التي تذوب في الماء .

نفاذية الخلايا للمواد الذائبة القابلة للتأين (الإلكتروليتية) :

أوضحت البحوث التي أجريت على امتصاص الأملاح وغيرها من المواد القابلة للتأين خلال الأربعين عاماً الأخيرة أن هذه المواد لا تدخل الخلية عادة في صورة جزيئات بل إنها — على النقيض من المواد غير القابلة للتأين — تنفذ إلى داخل الخلية في صورة الأيونات المكونة لها ، وقد تمتص الخلية أيونى

الملح الواحد بدرجتين متفاوتتين ، ولكن امتصاص أحد الأيونين بكمية أكبر لا يمكن أن يحدث — نظراً لتجاذب الأيونات مختلفة الشحنة — دون أن يحل محل هذه الزيادة الممتصة أيون آخر له نفس الشحنة وكميتها . وهناك احتمالان لحدوث هذا الإحلال فلما أن يتأين الماء ويحل أحد أيوناته محل الزيادة الممتصة من المحلول الخارجى ، على حين يصحب أيونه الآخر الأيونات الزائدة التى تدخل الخلية ، أو تخرج من الخلية كمية من الأيونات لها نفس وقيمة شحنة الأيونات الممتصة .

فثيرات البوتاسيوم (بون م) ، مثلاً ، تدخل الخلية على أية صورة من الصور الثلاث الآتية :

(أ) إما أن تدخل الأيونات المكونة لها — أى (بو +) و (ن م -) — فى نفس الوقت .

(ب) أو تدخل على حساب تأين بعض جزيئات الماء ، وذلك فى صورة مجموعات متأينة مثل (يد + ن م -) أو (بو + ايد -) . وفى الحالة الأولى يبقى فى الخارج أيون الإيدروكسيل (ايد -) ليحل محل أيون (ن م -) الممتص ، أما فى الحالة الثانية فيبقى أيون الإيدروجين (يد +) ليحل محل أيون (بو +) الذى دخل الخلية .

(ح) أو تدخل عن طريق تبادل الأيونات بين الخلية والوسط الخارجى فإذا امتص أيون (ن م -) خرج بدلاً منه أيون يحمل نفس الشحنة وكميتها مثل أيون (يد م -) ، وإذا دخل أيون (بو +) خرج من الخلية بدلاً منه أيون (ص +) مثلاً وهكذا .

والتفاوت فى امتصاص أيونى الملح الواحد من الظواهر المألوفة ، فقد لاحظ كل من ميرر (Meurer) وروهلاند (Ruhland) أن شرائح جذور الجزر أو البنجر المغمورة فى محاليل من كلوريد البوتاسيوم أو الصوديوم

أو الكالسيوم تمتص الكاتيونات أكثر من الأنيونات ، ولكن شرائح الجزر
الموضوعة في محلول نترات البوتاسيوم امتصت الأنيون (ن⁻) أكثر من
الكاتيون (بو⁺) . كذلك لاحظ لونديجورد (Lundegardh) — عام
١٩٤٠ — أن جذور القمح المغمورة في محلول كلوريد الصوديوم امتصت
الأنيون (كل⁻) بدرجة أكبر من امتصاصها للكاتيون (ص⁺) .

كذلك تتميز الخلايا النباتية بقدرتها على الامتصاص الانتخائي للأيونات
المتشابهة ، فعندما أنمى كولاندر (Collander) — عام ١٩٤١ — نباتات مختلفة
في مزارع مائية متماثلة ، تحتوى بالإضافة إلى العناصر الضرورية تركيزات
متساوية من الكاتيونات (ص⁺) ، (بو⁺) ، (كا⁺⁺) ، (ما⁺⁺)
وجد أن كل النباتات امتصت أيون (بو⁺) أكثر من الأيونات الثلاثة
الأخرى ، وأن غالبية هذه النباتات امتصت أيون (ص⁺) بدرجة قليلة
جداً ، ويمكن القول إجمالاً أن الكاتيونات أحادية التكافؤ — مثل (بو⁺)
(ن يد⁺) ، (سز⁺) — تمتص أكثر من الكاتيونات ثنائية أو عديدة
التكافؤ مثل (كا⁺⁺) ، (ما⁺⁺) ، (با⁺⁺) وبالمثل تمتص الأنيونات
(ن⁻) ، (بر⁻) ، (كل⁻) أكثر من الأنيونات عديدة التكافؤ
مثل (كب⁻) .

وثمة حقيقة أخرى بالنسبة لامتصاص بعض الأيونات ، وهي تراكمها في
فجوات الخلايا حتى يصبح تركيزها في العصر الخلوى أعلى بكثير من
تركيزها في المحلول الخارجى ، فقد لاحظ كثير من الباحثين أن أيون (بو⁺)
يتراكم في خلايا الطحالب نيتيلا وفالونيا وكارا بدرجة كبيرة ، وخاصة في
خلايا طحلب نيتيلا كما يتضح من الجدول (٢٠) . وليس تراكم الأيونات
مقصوراً على الخلايا الطحلبية فحسب ، بل أنه قد تبين بالتجربة أن جذور
النباتات الراقية المجزأة وشرائح أعضاء التخزين — مثل درنات البطاطس
وجذور الجزر — لها القدرة على تراكم أيونات بروميد البوتاسيوم إذا غمرت
في محلول مخفف منه .

جدول (٢٠)

تراكم بعض الأيونات في خلايا الطحالب ، كما
يتضح من مقارنة تركيب العصير الخلوي بتركيب المحلول الخارجي

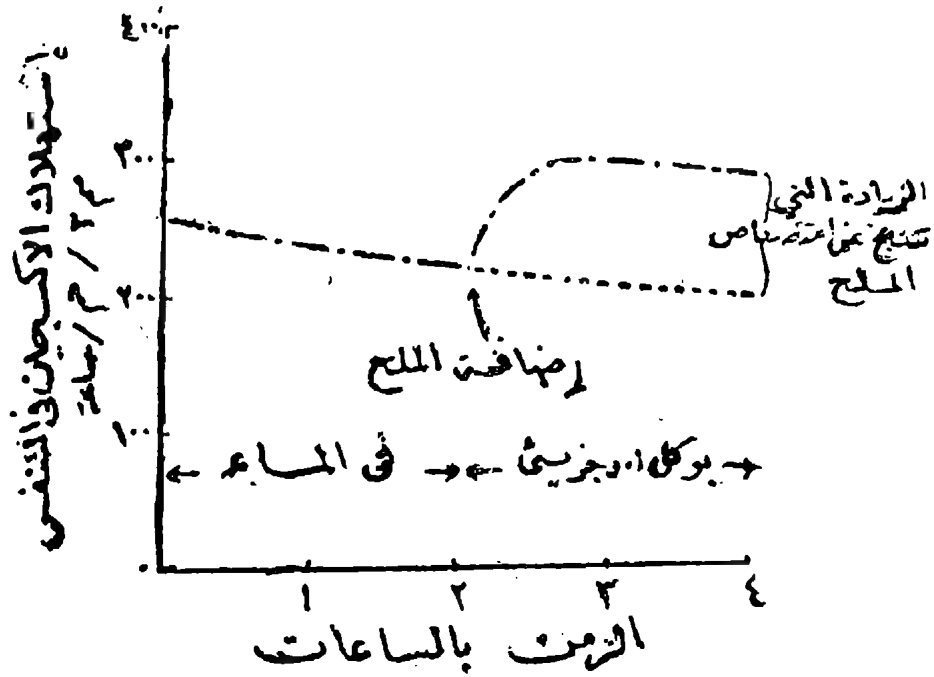
نيتيلا (Nitella)			كارا (chara)			فالونيا (Valonia)			الأيون
التركيز في الخلية	التركيز في الخارج	التركيز في الداخل	التركيز في الخلية	التركيز في الخارج	التركيز في الداخل	التركيز في الخلية	التركيز في الخارج	التركيز في الداخل	
جزئي	جزئي	جزئي	جزئي	جزئي	جزئي	جزئي	جزئي	جزئي	
٣١٠×	٣١٠×	٣١٠×	٣١٠×	٣١٠×	٣١٠×	٣١٠×	٣١٠×	٣١٠×	
٩٠,٨	٠,٩٠٣	١٠٠	٢٢٥	٧٣	٣	٥٩٧	٥٨٠	١,٠	كل -
١٠	٠,٢١٧	٤٦	١٤٢	٦٠	٢,٣	٩٠	٤٩٨	٠,١٨	ص +
٥٤,٣	٠,٥١	١٦٥	٨٨	١,٤	٦٣	٥٠٠	١٢	٤٢	بو +
١٠,٢	٠,٧٧٥	١٣	١٠,٥	٣,٦	٣	١,١	١٢	٠,١٤	كا ++

ويعتمد تراكم الأيونات في هذه الأنسجة على عملية التنفس ، فيقل
أو ينعدم إذا قل نشاط عملية التنفس ويزداد بزيادتها . وقد لاحظ ميلثورب
وروبرتسون (Milthorpe and Robertson) عام ١٩٤٨ - أن تراكم
الأيونات في جذور الشعير يقابله زيادة كمية الأكسجين المستهلكة في التنفس
(شكل ٣٤٣) .

ويؤثر المحتوى السكري ودرجة الحرارة في تراكم الأيونات بطريقة مماثلة
لتأثيرها في التنفس . فقد وجد هوجلاند وبروير (Hoagland & Broyer) -
عام ١٩٣٦ - أن تراكم أيونات البوتاسيوم والنيترات وغيرها في جذور
الشعير الحزأة يزداد بارتفاع درجة الحرارة ، ومن تجارب أخرى اتضح
أن أنسجة الجذور ذات المحتوى المنخفض من السكر لها قدرة ضئيلة نسبياً
على تراكم الأيونات .

كذلك يؤثر تركيز المادة في المحلول الخارجي في درجة تراكمها ، فزيادة
تركيز أيون البروميد في المحلول الخارجي يرفع تركيزه في العصير الخلوي ،

(شكل ٣٤٣)



معدل استهلاك الأكسجين في نفس جذور الشير ، وتأثيره بوجود ملح و الوسط الخارجي (من نتائج ماثورب ورويرسون) .

إلا أن العلاقة ليست على أية حال خطية ، فقد وجد ستيوارد (Steward) - عام ١٩٣٣ - أن زيادة تركيز أيون البروميد إلى عشرة أمثال تركيزه الأصلي في المحلول الخارجي تسبب زيادة امتصاص أقراص درنات البطاطس لهذا الأيون إلى الضعف تقريباً . كذلك يؤثر الرقم الهيدروجيني للمحلول الخارجي في امتصاص وتراكم الأيونات . ويمكن القول عامة بأن امتصاص الكاتيونات يزداد من المحلول القلوي ، كما يزداد امتصاص الأنيونات من الوسط الحامضي ، فقد وجد هوجلاند ودافيس (Hoagland & Davis) - عام ١٩٢٣ - أن الطحالب نيتيلا تمتص النترات بدرجة قليلة من الوسط القلوي ويكاد يتوقف امتصاصه لها عند الرقم الهيدروجيني ٨.٥ ولكن - على النقيض من ذلك - وجد كثير من الباحثين أن امتصاص النواذر يزداد من الوسط القلوي .

من كل ما تقدم يتضح أن امتصاص الأيونات وتراكمتها عملية حيوية تتطلب طاقة أيضية ، أى أن الخلية الحية تستنفد جزءاً من طاقتها المتولدة أثناء التنفس في امتصاص الأيونات ضد التدرج في تركيزها ، ويطلق على هذا النوع من الامتصاص « الامتصاص النشط أو الأيضى (Active or metabolic absorption) ، ومن المعتقد أنه يتم عن طريق وساطة مركب ناقل يكون موجوداً في الغشاء البلازمي نفسه ومن شأنه أن يسرع من حركة الذائبات عبر الغشاء (إيبشتاين - Epstein - عامى ١٩٧٢ ، ١٩٧٤) .

العوامل التي تؤثر في نفاذية البروتوبلازم للمواد :

١ - درجة الحرارة : تزداد نفاذية الخلايا النباتية بارتفاع درجة الحرارة في المدى من صفر إلى ٥٠°م ، وهى الدرجة التي تفقد عندها الخلايا حيويتها تقريباً ، فإذا تجاوزت درجة الحرارة ذلك المدى فقد البروتوبلازم حيويته ، ومن ثم يفقد تحكمه في نفاذية المواد . وتكون الزيادة في النفاذية عكسية - بمعنى أنها تعود إلى حالتها الطبيعية بزوال المؤثر - ما دامت درجة الحرارة دون الدرجة المميتة .

وأنسب الأنسجة لدراسة تأثير الحرارة في النفاذية هى أنسجة جذور البنجر ، التى تحتوى خلاياها على صبغ الأنثوسيانين الأحمر ، ولا تسمح له بالنفاذ إلى خارجها في الظروف العادية . فإذا سخنت أقراص من هذه الجذور في قليل من الماء فإن الأخير يتلون باللون الأحمر تدريجياً ، وكلما اقتربت درجة الحرارة من الدرجة المميتة زاد تلون الماء تبعاً لزيادة نفاذية الأغشية البلازمية لصبغ الأنثوسيانين . فإذا ما تجاوزت درجة الحرارة ٥٠°م تدفق الصبغ إلى الخارج ، واستمر في تدفقه حتى بعد إعادة الأقراص إلى الماء العادى .

وتأثير الحرارة في النفاذية كبير ، إذ تبلغ قيمة المعامل الحرارى من ٢ إلى ٣ وربما أكثر من ذلك . والطريقة التى تؤثر بها درجة الحرارة في النفاذية غير معروفة على وجه التحديد ، فقد يكون هذا التأثير راجعاً - ولو جزئياً - إلى تغيرات في طبيعة البروتوبلازم ، كانهضاض اللزوجة الذى يصحب

ارتفاع درجة الحرارة . كذلك يزداد النشاط الحركي للدقائق التي تمر خلال الأغشية البلازمية بارتفاع درجة الحرارة ، وهذا يؤدي إلى زيادة واضحة في نفاذية الخلية .

ولدرجات الحرارة المنخفضة - التي تؤدي إلى تكوين الصقيع بالأنسجة النباتية - تأثير في النفاذية يماثل درجات الحرارة المرتفعة ، أي أنها تسبب زيادتها زيادة غير عكسية . ولا يعزى هذا التأثير إلى تمزق الخلايا - نتيجة لتكوين الثلج - كما قد يتبادر إلى الذهن ، ولكن إلى تأثير الثلج في إتلاف حالة البروتوبلازم الغروانية وفقده كل الخواص العادية ، وإذا تكون الثلج في المسافات البينية فإنه يستخلص الماء من الخلايا ، ومن ثم يسبب جفاف البروتوبلازم وزيادة تركيز العصير الخلوي زيادة كبيرة .

٢ - الضوء : دلت الأبحاث المختلفة على أن الضوء يؤثر في نفاذية الخلية النباتية ، فقد وجد ليبشكين (Lepeschkin) أن نفاذية خلايا الوسادة الورقية في القرنيات تزيد عند تعرضها للضوء وتقل في الظلام ، وأن زيادة النفاذية يتبعها نقص في حجم الخلايا ، أما انخفاض النفاذية فيسبب زيادة ضغط الامتلاء وزيادة حجم الخلايا .

وتتباين أشعة الطيف المختلفة في تأثيرها في النفاذية ، فالأشعة البنفسجية - وهي أقصر موجات الطيف المرئي طولاً - هي أشد الأشعة تأثيراً في النفاذية ، أما الأشعة الحمراء فأقلها .

٣ - المواد السامة : الإثير والكلوروفورم والكحول - وغيرها من المواد السامة - تقلل النفاذية بدرجة ملحوظة إذا وجدت في بيئة النبات بتركيزات ضئيلة جداً ، ويكون تأثيرها في هذه الحالة عكسياً . أما إذا وجدت بتركيزات عالية فإنها تسبب زيادة غير عكسية في النفاذية يعقبها موت الخلايا . ويمكن أن يلاحظ هذا التأثير إذا علقت قطعة من جذر البنجر في جو من بخار الكلوروفورم ، فبعد فترة قصيرة تشاهد قطرات العصير الخلوي وهي تتساقط من الفسيج حاملة معها الصبغ الأحمر « الأنثوسيانين » ، ويعزى تأثير المواد السامة في نفاذية الغشاء البلازمي إلى أن هذه المواد - بالإضافة إلى

فعلها كمذيبات لبعض أطوار السيتوبلازم - تعمل على خفض توتر السطح الفاصل بين السيتوبلازم والمحلول الخارجى المنغمسة فيه الخلية ، وقد يودى ذلك إلى إحداث تغيرات فى الأغشية البلازمية يكون من شأنها أن تفقد خواصها الفسيولوجية .

٤ - المواد الذائبة فى بيئة النبات : قام أسترهاوت (Osterhout) بأبحاث كثيرة لدراسة تأثير الأملاح المختلفة على النفاذية ، واستعمل فى تقديرها طريقة قياس التوصيل الكهربى لأنسجة طحلب اللاميناريا (Laminaria) . وهذه الأنسجة عندما تكون حية تبدى مقاومة كبيرة للتوصيل الكهربى تصل إلى ١١٠٠ أوم ، وتنخفض هذه المقاومة إلى ٢٢٠ أوم عندما تفقد حيويتها . وقد لاحظ أسترهاوب عندما وضع نسيجاً حياً من الطحلب فى محلول من كلوريد الصوديوم أن مقاومته انخفضت بسرعة ، ولكن عندما أعيد الطحلب إلى ماء البحر ارتفعت مقاومته مرة ثانية ، ما لم يكن قد مضى عليه فى محلول كلوريد الصوديوم مدة طويلة . كذلك الحال بالنسبة لبقية الأملاح ذات الكاتيونات أحادية التكافؤ مثل (بو +) و (لى +) ، وقد عزي أسترهاوت النقص فى مقاومة النسيج للتوصيل الكهربى إلى تأثير هذه الأملاح فى زيادة النفاذية . أما الأملاح ذات الكاتيونات ثنائية التكافؤ مثل (كا ++) و (ما ++) و (ح ++) فقد تبين أنها تقلل نفاذية البروتوبلازم ، أى تزيد من مقاومة النسيج للتوصيل الكهربى ، ويلاحظ أن هذا التأثير وقى إذ أن بقاء الطحلب فى محاليل هذه الأملاح مدة طويلة يودى إلى زيادة نفاذية الخلايا ثم إلى موتها كما هو الحال بالنسبة للأملاح ذات الكاتيونات أحادية التكافؤ . كذلك تؤثر الأملاح ذات الكاتيونات ثلاثية التكافؤ مثل (لو +++) و (ح +++) فى نفاذية الخلايا ، وتأثيرها يشبه تأثير الأملاح ذات الكاتيونات ثنائية التكافؤ ولكن بدرجة أشد .

أما بالنسبة لتأثير الأنيونات ، فقد دل البحث الذى أجري لاختبار تأثير عدد من الأملاح - التى تحتوى على كاتيون مشترك وأنيونات مختلفة - فى نفاذية أنسجة نفس الطحلب على أن هذه الأملاح جميعها تسبب زيادة النفاذية ، وكلما كان تكافؤ الأنيون أكبر كان تأثيره أكثر وضوحاً .

التضاد

من المعروف أن محلول الملح الواحد له تأثير سام في خلايا النبات بغض النظر عما يكون للعناصر المكونة له من أهمية في حياة النبات . فالنباتات البحرية تفقد حيويتها في محلول من كلوريد الصوديوم له نفس تركيز ماء البحر أسرع مما تفقدها وهي في ماء مقطر . هذا التأثير السام لمحلول كلوريد الصوديوم يخف بإضافة كمية قليلة جداً من ملح آخر مثل كلوريد الكالسيوم ، ويكاد يتلاشى إذا أضيفت إلى المحلول كمية صغيرة من ملح آخر مثل كلوريد البوتاسيوم . وهذه الأملاح - ذات التأثير السام حين يوجد كل منها في المحلول على انفراد - تعمل على إبطال التأثير السام لبعضها البعض إذا وجدت مجتمعة في الوسط الخارجي للنبات . ونعرف ظاهرة تبادل إبطال التأثير السام بين الأملاح « بالتضاد » (Antagonism) ، أما المحلول الذي يحتوي على أملاح عديدة بنسب خاصة بحيث لا يكون لها تأثير سام فيعرف بالمحلول المتوازن (Balanced solution) ، ومن أمثله ماء البحر ومحلول التربة .

ويكون التضاد أكثر وضوحاً بين الأملاح التي يختلف تكافؤ كاتيوناتها ، فعلى سبيل المثال يوجد تضاد بين كاتيونات هذه الأملاح : ص كل ، سر كل^٢ - بون^٣ ، كا (ن ا م)^٢ - ص كل ، ما (ن ا م)^٢ - ص كل ، كا كل^٢ .

ولتوضيح التضاد عملياً نضع أقراصاً من جذور البنجر في ماء مقطر وفي محلول مخفف من كلوريد الصوديوم ، فنلاحظ أن المادة الملونة قد تسربت إلى الخارج في الحالة الثانية فقط ، وذلك لزيادة نفاذية الغشاء البلازمي في وجود أيون الصوديوم . فإذا نقلت الأقراص التي أخرجت المادة الملونة إلى محلول مماثل من كلوريد الصوديوم به كمية قليلة جداً من كلوريد الكالسيوم فإن خروج المادة الملونة يقل ثم يقف ، وذلك لأن أيون الكالسيوم أبطل الزيادة في نفاذية الغشاء البلازمي الناتجة عن أيون الصوديوم .

وتعزى ظاهرة تضاد الأملاح إلى أن كلا من المالحين يحول دون دخول الآخر في الخلية النباتية ، ولكن هذا التفسير قد صادفته اعتراضات كثيرة أهمها أنه في بعض حالات التضاد قد تدخل أيونات الملح الواحد إلى الخلية من محلول المالحين أكثر من دخولها حينما يكون هذا الملح موجوداً على انفراد فشلا - في حالة التضاد بين ص كل ، كاكل ٢ - بينما تهلك الخلايا في محلول من كلوريد الصوديوم (٠,٠١ جزئى) نجد أنه في وجود كلوريد الكالسيوم قد يتراكم أيون الصوديوم في الخلايا إلى عشرة أمثال هذا التركيز دون أن ينتج عنه تأثير سام . ولذلك عزى التضاد إلى التأثير المضاد للأيونات في البروتوبلازم ، فبينما تقلل الكاتيونات أحادية التكافؤ من القوى التى تربط بين الجزيئات المكونة للغشاء البلازمى وتسبب تفككها نجد أن الكاتيونات ثنائية التكافؤ تعمل في عكس هذا الاتجاه ، ومن الواضح أن كلا الاتجاهين ضار بالخلية ، ولذلك يكون المحلول الذى يحتوى على المالحين أقل ضرراً من أى من المالحين في المحلول على انفراد .

الباب الثانى والثلاثون

العلاقات المائية للنبات

يحتاج النبات إلى قدر وافر من الماء ، نظراً لما له من أهمية قصوى في حياته ، فهو — بالإضافة إلى كونه أحد مركبات البروتوبلازم الأساسية — لازم لمختلف أنواع النشاط الحيوى في الخلية ، فمعظم العمليات الكيميائية التى تحدث بالخلية تتطلب وجود الماء كشرط أساسى لإتمامها .

ويحصل النبات الراقى على حاجته من الماء من التربة بواسطة جذوره المتشعبة فيها ، غير أن النبات لا يحتفظ بكل ما يحصل عليه من الماء ، ولكنه يفقد الجزء الأكبر منه عن طريق الأوراق في عملية النتج ، ويصعد الماء المنتص من الجذر إلى الأوراق خلال الساق وفروعها الجانبية . وعلى ذلك يمكن تلخيص حركة الماء في النبات في الموضوعات الثلاثة الآتية :

١ — امتصاص الماء (Water absorption)

٢ — صعود العصارة (Ascent of sap)

٣ — النتج (Transpiration)

وستتناول كلا من هذه الموضوعات بشئ من التفصيل .

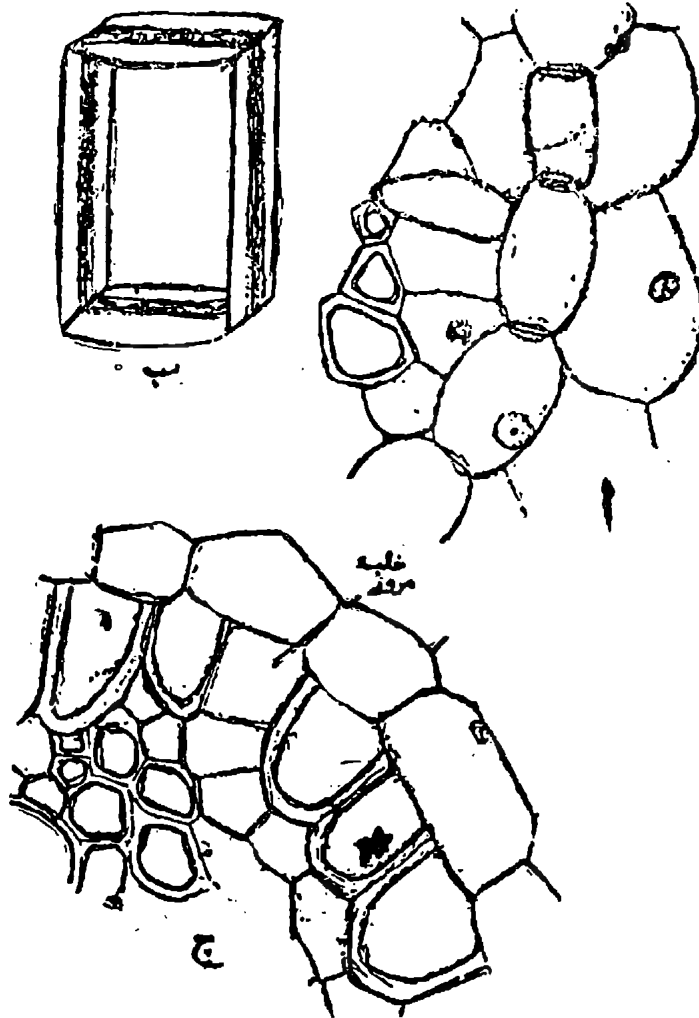
امتصاص الماء

لا توجد في الرتب الأولى من النباتات الدنيئة — كالطحالب والفطريات — أعضاء خاصة بامتصاص الماء ، فهى تحصل على حاجتها بواسطة بعض أو كل خلاياها وذلك لأنها مغمورة عادة في وسط مائى . وفي الخزازيات المنبطحة والقائمة تظهر أعضاء تعرف بأشباه الجذور (Rhizoids) تقوم بدور جزئى في امتصاص الماء والأملاح المعدنية . أما معظم النباتات الراقية فتتميز بوجود أعضاء خاصة بالامتصاص هى الجذور والشعيرات الجذرية . والأخيرة

والشعيرة الجلدية ذات جدار سيلوزي رقيق تبطنه من الداخل طبقة رقيقة من السيتوبلازم متصلة بسيتوبلازم خلية البشرة التي تكونت منها الشعيرة وتغلف طبقة السيتوبلازم فجوة عصارية كبيرة مملئة بعصير خلوي ضغطه الأزموزي أعلى من الضغط الأزموزي لمحلول التربة .

ويسلك الماء الداخلى إلى الجذر - بعد اختراقه لجدار الشعيرات الجلدية وخلايا البشرة القريبة من القمة - عدة طبقات متعاقبة من خلايا القشرة رقيقة

(شكل ٣٤٥)



مركيب الإندودرميس في الجذر : (١) جزء من الاسطوانة الإندودرمية في حداثتها ، يوضح أنشطار كاسبار على الجدار القطرية كالأندود في قطاع مستعرض ، (ب) رسم تخطيطي لخلية واحدة يوضح وضع السميط ، (ج) جزء من الاسطوانة الإندودرمية في مرحلة مسنة يلاحظ فيه وجود خلايا رقيقة الجدار مقابل الخشب الأول تعرف بخلايا الممرور .

الجذر ، بعد ذلك يمر الماء خلال طبقة الإندودرمس وتتميز جدرها بتركيب فريد في نوعه ، إذ يبطن جدرها القطرية شريط من مادة تشبه السوبرين يأخذ شكل حزام (شكل ٣٤٥ : ب) — يعرف بشرط كاسبار (Casparian strip) ، أما جدرها المحيطية فتبقى دون تغلظ ، لذلك لا يمكن أن يكون مرور الماء من القشرة إلى الأوعية الخشبية خلال الجدر القطرية لخلايا الإندودرمس ، بل يقتصر ذلك على جدرها الخارجية والداخلية غير المغلظة ، هذا إذا كان الجدر حديث السن ، أما في الجذور المسنة فيمتد التغلظ إلى الجدر المحيطية الداخلية (شكل ٣٣٥ : ج) وأحيانا إلى الجدر الخارجية أيضاً ، وبذا يقل الطريق في وجه الماء إلا من بعض خلايا تبقى دون تغلظ وتعرف بخلايا المرور (Passage cells) كما هو مبين في شكل (٣٤٥ : ج) ، وينتقل الماء بعد مروره خلال خلايا الإندودرمس إلى القنوات الخشبية . وذلك بعد اختراقه لخلايا البريسيكل رقيقة الجدر .

آلية امتصاص الماء :

١ — التشرّب :

يدخل الجذر قادر ضئيل نسبياً من الماء بخاصة التشرّب . فالشعيرات الجذرية وخلايا البشرة في منطقة الامتصاص تتشرب جدرها الماء من التربة حتى تشبع به ، وبما أن الماء ينتقل من جدار خلوى مشبع إلى جدار ملاصق له أقل منه تشبعاً فإن ماء التشرّب ينتقل من جدر الشعيرات الجذرية المشبعة إلى جدر خلايا القشرة الملاصقة لها ، ثم يستمر انتقال ماء التشرّب خلال جدر خلايا القشرة المتتابعة نتيجة للنقص التدريجي في درجة التشبع . وعندما يصل ماء التشرّب إلى طبقة البشرة الداخلية (الإندودرمس) يتعذر مروره خلالها نظراً لوجود مادة السوبرين غير المنفذة في جدر خلاياها ، وعلى ذلك يتجه ماء التشرّب إلى أعلى في الساق والأوراق حيث تعاني جدر الخلايا نقصاً في درجة تشبعها نظراً لما تفقده من ماء في عملية النتج .

٢ - الامتصاص المباشر للماء (Active water absorption) :

ينتقل الماء من التربة إلى الشعيرة الجذرية بآلية أزموزية بسيطة ، وذلك حينما تكون قوة الامتصاص الأزموزية للشعيرة الجذرية أعلى من الضغط الأزموزي لمحلول التربة . وقد ثبت أنه بينما يقل الضغط الأزموزي لمحلول التربة عن ضغط جوى واحد فإن الضغط الأزموزي لخلايا البشرة والشعيرات الجذرية يبلغ حوالى ٣-٥ ضغوط جوية أو أكثر . ومع أن قوة الامتصاص الأزموزية للشعيرة الجذرية تقل عن ضغطها الأزموزي نظراً لضغط الجدار إلا أن قيمتها تظل أعلى من الضغط الأزموزي لمحلول التربة ، وعلى ذلك ينتقل الماء من التربة إلى داخل الشعيرة الجذرية (١) - شكل ٣٤٤ - فزداد درجة امتلائها وتنخفض بذلك قوة امتصاصها الأزموزية عن قوة امتصاص خلية القشرة (ب) الملاصقة لها ، ويترتب على ذلك انتقال الماء إلى الخلية (ب) التى يزداد عندئذ امتلاؤها وتنخفض قوة امتصاصها الأزموزية عن قوة امتصاص الخلية (ج) وهى ثانی طبقات القشرة ، ويتبع ذلك انتقال الماء إلى الخلية الأخيرة . وهكذا يستمر انتقال الماء خلال طبقات القشرة وطبقتى الإندودرمس والبريسيككل حتى يصل فى النهاية إلى أوعية الجذر الخشبية .

وانتقال الماء بالطريقة السابقة يتبعه أن تصبح الخلايا الحية فى الطريق الذى يسلكه الماء ممتلئة تماماً . ولما كانت خلايا القشرة فى هذه الحالة تصبح غير قادرة على امتصاص الماء ما لم تفقد بعض ماؤها فقد اعتبر أتكنز (Atkins) أن الخلايا الحية خارج الاسطوانة الوعائية فى الجذر بمثابة غشاء بلازمى واحد على جانبه الخارجى لمحلول التربة وعلى جانبه الآخر أوعية الجذر الخشبية ، وينتقل الماء من التربة إلى الأوعية الخشبية بالفرق بين الضغط الأزموزي للمحلولين على جانبي الغشاء ، تماماً كما ينتقل الماء إلى المحلول السكرى فى جهاز أزمومتري . وقد وجد أتكنز أن الضغط الأزموزي للعصارة الخشبية أعلى منه لمحلول التربة . وعلى الرغم من أن الضغط الأزموزي لخلايا القشرة أكثر ارتفاعاً ، إلا أن ذلك لا يؤثر فى الامتصاص ، إذ أن القدرة على

امتصاص الماء لا يعتمد على الضغط الأزموزى نفسه ، بل على قوة الامتصاص الأزموزية التى تنقص عنه بمقدار ضغط الامتلاء . ومما لا شك فيه أن قيمة هذا الضغط الأخير كبيرة وتزداد بامتصاص الماء . ونظراً لما يتبع استمرار امتصاص الماء من خفض تركيز العصارة فى الأوعية الخشبية فإنه لا بد لها من إمدادات متصلة من المواد الذائبة ، كالسكر والأحماض العضوية ، تأتىها من الخلايا البارانشيمية المحيطة بها خلال جدرانها المنفذة الملاصقة للأوعية الخشبية.

وقد اعتبر بريستلى (Priestley) أن التركيب الخاص لطبقة الإندودرمس الذى سبق ذكره (شكل ٣٤٥) لازم لبقاء تركيز العصارة فى أوعية الخشب عالياً . فوجود شريط من مادة السوبرين غير المنفذة على الجدار القطرية للخلايا هذه الطبقة يجعل منها أسطوانة محكمة تحول دون تسرب الذائبات من بارانشيم الخشب إلى الخارج ، وفى نفس الوقت تحدد مرور الماء الممتص والأملاح الذائبة فيه من القشرة إلى الأوعية الخشبية خلال بروتوبلازم خلايا الإندودرمس وذلك لاقتصار النفاذية على جدرانها المحيطة وحدها .

ويندفع الماء الممتص إلى داخل / أوعية الجذر الخشبية بقوة دافعة تنشأ عن الفرق بين ضغطى محلول التربة والعصارة الخشبية ، ويطلق عليها « الضغط الجذرى » (Root pressure) . وتعزى إلى هذا الضغط بعض الظواهر ، فإذا قطع نبات بالقرب من سطح التربة شوه الماء المدفوع فى الأوعية الخشبية وهو يتجمع على السطح المقطوع ثم لا يلبث أن يتساقط ، وتسمى هذه الظاهرة « إدماء » (Bleeding) . وثمة ظاهرة أخرى هى خروج قطرات الماء من ثقب عند أطراف العروق فى أوراق النباتات الكاملة وتعرف هذه الظاهرة « بالإدماع » (Guttation) . وسنعود إلى التحدث عن الضغط الجذرى بالتفصيل عند دراسة صعود العصارة .

٣ - الامتصاص غير المباشر (السلبي) للماء :

(Passive water absorption)

وهناك قوة أخرى يدخل الماء بوساطتها إلى الجذور ، وهى قوة الشد

الناتجة عن النتح . فعندما تفقد خلايا النسيج الوسطى في الورقة بعض ماؤها في عملية النتح ترتفع قوة امتصاصها الأزموزية وتسحب الماء من الخلايا المجاورة لها ، وهذه بدورها ترتفع قوة امتصاصها الأزموزية ومن ثم تسحب الماء مما جاورها من الخلايا ، وهكذا إلى أن يصل السحب إلى الأوعية الخشبية بالورقة ، وعلى ذلك يتعرض الماء في هذه الأوعية إلى شد من أعلى . ولما كان الماء في الأوعية الخشبية يكون عموداً متصلاً من الجذر إلى الورقة فإن قوى الشد تنقل إلى أسفل خلال عمود الماء كله . وعندما تصل هذه القوة إلى عمود الماء في القنوات الخشبية في منطقة الامتصاص يبدأ الماء في الانتقال إلى هذه القنوات من الخلايا الحية الملاصقة لها ، فتزداد قوة الامتصاص الأزموزية للخلايا الأخيرة ، وينقل إليها الماء بدورها من التربة . وعملية الامتصاص هذه لا تعدو أن تكون آلية أزموزية . ولكن نظراً لأن القوة الداعية إليها تنشأ في الورقة وليست في الجذر فقد أطلق عليها الامتصاص غير المباشر أو السلبي وذلك تمييزاً لها عن النوع السابق من الامتصاص الذي يطلق عليه « الامتصاص المباشر أو الإيجابي » نظراً لنشأة آليته في الجذر فحسب .

ومعظم الماء الذي يمتصه النبات يدخل إلى الجذر بالآلية الأخيرة ، ذات القدرة الكبيرة على إنقاص المحتوى المائي للتربة ، فهي قادرة على أن تنزع الماء من التربة إلى أن تقترب نسبته فيها من النسبة المثوية للذبول الدائم (في هذه الحالة يكون الضغط الأزموزي لمحلل التربة مساوياً ١٥ ضغطاً جويّاً تقريباً) ، أما الامتصاص المباشر فلا يستطيع انتزاع الماء إذا ما تعدى الضغط الأزموزي لمحلل التربة ضغطين جويين .

وسياتى ذكر الأدلة المؤيدة لوجود الامتصاص غير المباشر عند الحديث عن نظرية التماسك في صعود العصارة .

العوامل التي تؤثر في امتصاص الجذر للماء :

تأثر قدرة الجذر على امتصاص الماء بالعوامل الأربعة الآتية :

- ١ - تركيز محلول التربة .
- ٢ - المحتوى المائى للتربة .
- ٣ - درجة حرارة التربة .
- ٤ - نهيوة التربة .

وسنتحدث بالتفصيل عن كل عامل من هذه العوامل الأربعة .

١ - تركيز محلول التربة : ينخفض معدل امتصاص الماء كلما زاد الضغط الأزموزى لمحلول التربة ، ويقف الامتصاص تماماً عندما يعادل هذا الضغط قوة امتصاص الخلايا الجذرية للماء . وتعتبر التربة في هذه الحالة جافة - من الوجهة الفسيولوجية - رغم تشبعها بالماء .

وتستطيع النباتات - في حدود معينة - أن تسابر الزيادة في تركيز محلول التربة ، وذلك بزيادة الضغط الأزموزى لخلاياها ، ومن ثم فإن الانخفاض في معدل الامتصاص - الذى يحدث عندما توضع جذور نبات في محلول ضغطه الأزموزى أعلى من الضغط الأزموزى لمحلول التربة التى كان ينمو بها - يمكن أن يزول بعد فترة من الوقت ويعود الامتصاص إلى معدله الأصى .

وتنفرد النباتات الملحية بقدرتها على أن تعيش في تربة درجة تركيز الأملاح بها عالية ، أى لها ضغط أزموزى مرتفع ، ومن أمثلة هذه النباتات الخريزة (Salicornia) ، والسويذة (Suaeda) وغيرهما ، وهى تعيش في المستنقعات الملحية وعلى مقربة من شواطئ البحار ، وتلك بيئات خاصة بها ولا تستطيع معظم النباتات الأخرى أن تعيش فيها .

وتعزى مقدرة النباتات على مسايرة الزيادة في الضغط الأزموزى لمحلول التربة إلى تسرب بعض الأملاح الذائبة إلى خلايا الجذر ، وهذا من شأنه أن يرفع من تركيز العصير الخلوى ، وبالتالي من قدرة الخلايا على الامتصاص . وبالإضافة إلى ذلك قد تتحلل بعض المركبات العضوية المعقدة التى يدخرها النبات عادة في الجذر - كالنشأ - إلى مركبات أقل تعقيداً كالسكر ، وهذا بدوره يزيد من تركيز العصارة الخلوية .

٢ - المحتوى المائى للتربة: تعتبر التربة بالنسبة للنبات مخزناً للماء ، ويكون هذا المخزن ممتلئاً عندما تحتوى التربة كمية من الرطوبة تمثل ما يبقى بها - عند ريحها أو عند سقوط مطر غزير عليها - بعد تسرب الماء الزائد إلى أسفل بتأثير الجاذبية الأرضية ، ويقال للتربة فى هذه الحالة إنها فى تمام السعة الحقلية (Field capacity) ، وتعتبر نخالية من الماء عندما لا يكون بها من الماء الميسور ما يكفى لمنع النبات من الذبول ، ويطلق على النسبة المئوية للمحتوى المائى فى هذه الحالة « معامل الذبول » (Wilting coefficient) أو « النسبة المئوية للذبول الدائم » (Permanent wilting percentage). وتتفاوت أنواع التربة المختلفة تفاوتاً كبيراً بالنسبة لكمية الماء التى تحتويها عند هذين الحدين ، وعلى ذلك فهى تختلف بالنسبة لما تحتويه من ماء صالح لاستغلال النبات ، ويبدو أن امتصاص الماء يسير بمعدل واحد تقريباً فى كل المحتويات المائية الواقعة بين هذين الحدين ، وخاصة فى أنواع التربة الخفيفة ومتوسطة القوام . ويمكن تعيين السعة الحقلية للتربة بإضافة كمية زائدة من الماء ، ثم الانتظار حتى يتم تسرب الماء الزائد إلى أسفل بالجاذبية الأرضية .

ولتقدير النسبة المئوية للذبول الدائم تحسب كمية الماء المتبقية فى التربة بعد استنفاد النبات النامى بها لكل الماء الميسور ، ويمكن تمييز ذلك عندما يبدأ النبات فى الذبول الدائم ، أى عندما لا يمكن أن يستعيد حالته الطبيعية إلا بإضافة ماء جديد للتربة . والمفروض أن هذه القيمة تمثل كمية الماء غير الميسور فى التربة ، وهى تختلف كثيراً حسب نوع التربة ، ولكنها لا تكاد تختلف بالنسبة لنوع النبات المستعمل فى الاختبار .

ولقد عين ساكس (Sachs) كمية الماء غير الميسور فى ثلاثة أنواع مختلفة من التربة ، وذلك بزراعة نباتات التبغ بها ، وعندما بلغت هذه النباتات حجماً مناسباً أوقف الرى ، وفى الوقت الذى بدأت فيه النباتات فى الذبول أخذ عينات من أنواع التربة المختلفة وجففها عند درجة ١٠٥° م ، ويوضح جدول (٢١) النتائج التى حصل عليها .

جدول (٢١)

معامل الذبول لثلاثة أنواع مختلفة من التربة ، وذلك بالنسبة لنبات التبغ

نوع التربة	السعة المائية القصوى (نسبة مئوية من الوزن الجاف للتربة)	معامل الذبول (نسبة مئوية من الوزن الجاف للتربة)
رملية	٢٠,٨	١,٥
طينية	٥٢	٨
دبالية	٤٦	١٢,٢

يتضح من هذا الجدول أنه كلما صغر حجم الحبيبات المكونة للتربة زادت قدرتها على الاحتفاظ بالماء ، كما أن وجود المواد العضوية مختلطة مع هذه الحبيبات تزيد من هذه القدرة . ويجب التفسير ذلك أن نذكر القوى المختلفة التي تحتفظ بوساطتها حبيبات التربة بالماء .

(أ) الخاصة الشعرية ، ويطلق على الماء المحتفظ به بهذه الخاصة اسم « الماء الشعرى » (Capillary water) ، وهو يوجد في صورة أغشية حول حبيبات التربة وفي المسافات التي تتخللها .

(ب) خاصة التجمع السطحي للحبيبات دقيقة الحجم .

(ج) خاصة التشرب للدقائق الغروانية العضوية المكونة للدبال .

ويطلق على الماء المحتفظ به بهاتين الخاصتين الأخيرتين « الماء الإيجروسكوبي » (Hygroscopic water) ، وهو يوجد في صورة أغشية رقيقة جداً على سطح الحبيبات .

وقوة احتفاظ التربة الرملية بالماء تكاد تكون مقصورة على الخاصة الشعرية وحدها ، وذلك لأن حبيبات تلك التربة كبيرة لا يمكنها اجتذاب الماء على سطوحها بخاصة التجمع السطحي ، كما لا يمكنها أن تشرب الماء لأن حجمها يفوق حجم دقائق المواد الغروانية .

ولما كانت قوة الاحتفاظ بالماء بالخاصة الشعرية ليست كبيرة فإن النبات يمكنه أن يمتص الجزء الأكبر من هذا الماء . أى أن التربة الرملية أكثر أنواع التربة سخاء بمائها بالرغم من أن ما تحمله من الماء عند تشبعها قليل إذا قورن بأنواع التربة الأخرى . أما التربة الطينية فأقل سخاء من التربة الرملية إذ تحتفظ بنسبة أكبر من مائها لا تجود بها على النبات ، ويعزى ذلك إلى كونها تحتفظ بالماء بقوتين : الأولى قوة التجمع السطحي وهى من الكبر بحيث لا يستطيع النبات التغلب عليها ، والثانية القوة الشعرية ، وماؤها هو الذى يمكن للنبات أن يستغله فى هذا النوع من التربة . أما التربة الدبالية الغنية بالمواد العضوية ذات الطبيعة الغروانية فتمتاز - علاوة على ما لها من خواص التربة الطينية - بقدرة حبيباتها الغروانية على تشرب الماء والاستمسك به ، فهى لذلك أكثر أنواع التربة قدرة على الاستمسك بالماء ، أى أن النباتات النامية فيها تذبل وتموت وما زالت بها نسبة كبيرة من الماء .

نستخلص مما سبق أن الماء الشعرى يمثل الماء السائغ - أى الميسور - أما الإيجروسكوبى (وهو الذى يكون أغشية رقيقة حول الحبيبات) فيمثل الماء الذى لا يستطيع النبات امتصاصه ، أى الماء غير الميسور ، وهو الذى تفوق قوة استمسك التربة به الضغط الامتصاصى للجذر ، ومن الجدير بالذكر أنه عندما ينفذ الماء الميسور من التربة لا يتوقف امتصاص النبات للماء تماماً ، بل يصبح من البطء بحيث تصعب معه المحافظة على امتلاء خلايا الأوراق .

ومن الملاحظ أن زيادة المحتوى المائى عن النسبة اللازمة لتشبع التربة يودى إلى خفض معدل الامتصاص ، نظراً لما يصحب ذلك من نقص فى تهوية التربة .

٣ - درجة حرارة التربة : تؤثر درجة حرارة التربة تأثيراً بالغاً فى معدل امتصاص الجذر للماء ، فرى النباتات بالماء البارد يودى غالباً إلى ذبولها ، ويكون هذا التأثير أكثر وضوحاً إذا كانت النباتات المستخدمة من النوع المستوطن للمناطق الدافئة . فمثلاً وجد كرامر (Kramer) - عام ١٩٤٢ - أن

نباتات البعليخ والقطن - وهى من محاصيل البلاد الحارة - تمتص عند درجة ١٠ م ٢٠٪ مما تمتصه عند درجة ٢٥ م ، أما فى محاصيل الفصول الباردة فتصل هذه النسبة إلى ٨٥٪ فقط . فإذا صاحب هذا النقص فى معدل الامتصاص ارتفاع فى درجة حرارة الجو وشدة إضاءة عالية ورطوبة نسبية منخفضة - وهى العوامل التى تساعد على زيادة النتج - فإن النباتات تذبل ذبولاً شديداً ، وذلك لزيادة كمية الماء المفقود عن طريق النتج من الأوراق على كميته الممتصة من التربة . وعل هذا يفسر ظاهرة تساقط الأوراق فى بعض نباتات المناطق المعتدلة فى فصلى الخريف والشتاء . حيث تؤدى برودة التربة إلى إضعاف امتصاص الماء منها ، وعدم تكافؤ كمية الماء الممتص مع كميته المفقودة عن طريق النتج تحت تأثير أشعة الشمس أثناء النهار ، فينخفض المحتوى المائى لأنسجة النبات بدرجة كبيرة ، ومن ثم ياجأ النبات إلى التخلص من أوراقه كوسيلة لتقليل السطح الناتج حتى يمكنه أن يوازن بين الفقد والامتصاص .

ويعزى هبوط معدل امتصاص الماء فى درجات الحرارة المنخفضة إلى زيادة لزوجته مما يؤدى إلى نقص طاقته الحركية فى التربة والنبات على السواء . كذلك تسبب درجات الحرارة المنخفضة زيادة لزوجة البروتوبلازم فيقل بذلك معدل إنفاذه للماء .

وقد ترتفع درجة حرارة التربة إلى الحد الذى يسبب نقص معدل امتصاص الماء . فمثلاً يقل امتصاص نباتات الليمون والبرتقال للماء عندما ترتفع درجة حرارة التربة عن ٣٠° أو ٣٥° م .

٤ - تهوية التربة : تعتبر التهوية الكافية ضرورية لعملية امتصاص الجذر للماء ، ويمكن القول عموماً أن الامتصاص فى التربة جيدة التهوية يكون أسرع بكثير منه فى التربة رديئة التهوية ، ولذلك فعندما تكون التربة شديدة التماسك ، أو مغمورة بالماء ، أو مستبدل بالهواء حول الجذور النامية فيها جو من ثانى أكسيد الكربون أو النيتروجين ، فإن النباتات تذبل وتموت نظراً لتوقف عملية الامتصاص توقفاً يكاد يكون تاماً . فمثلاً وجد كرامر (Kramer) -

عام ١٩٤٠ - أن نباتات عباد الشمس والظاظم تدبل بعد نصف ساعة من إمرار تيار من ثاني أكسيد الكربون في الماء أو التربة التي تنمو فيها جذورها . ويعزى انخفاض معدل الامتصاص في هذه الحالة إلى نقص نفاذية الخلايا للماء في وجود ثاني أكسيد الكربون .

وتشبع التربة بالماء هو العامل الذي يؤدي عادة إلى نقص تهوية التربة . ويكون هبوط معدل امتصاص الماء في مثل هذه الظروف راجعاً إلى النقص الشديد في تركيز الأكسجين أكثر منه إلى الزيادة في تركيز ثاني أكسيد الكربون . وذلك لأن نقص الأكسجين بدرجة كبيرة يسبب انخفاض معدل تنفس الخلايا الجذرية ، وهذا بدوره يؤثر على سائر عمليات التحول الغذائي كما يؤثر على نمو الجذور ، ويترتب على هذا الاختلال في العمليات الفسيولوجية انخفاض معدل امتصاص الماء . نستخلص مما سبق أن ما يضر بالنباتات في الأراضي المغمورة ليس ازدياد كمية الماء ولكن نقص كمية الهواء حول المجموع الجذري ، والدليل على ذلك أن النباتات تنمو نمواً كاملاً في المزارع المائية متى دفع فيها تيار من الهواء من حين لآخر .

غير أن هناك أنواعاً من النباتات يمكنها أن تنمو وأن تمتص جذورها الماء من الأراضي المغمورة به ، فبعض النباتات المائية مزودة بجهاز من المسافات البينية الواسعة متصل في الأوراق والسيقان والجذور ، وتستمد الجذور ما يلزمها من الأكسجين مما يوجد منه في هذه القنوات الهوائية . وهناك أيضاً بعض نباتات تستطيع أن تعيش في الأراضي المشبعة بالماء دون أن يكون لها جهاز داخلي للتهوية ، وتستطيع مثل هذه النباتات القيام بسائر عمليات التحول الغذائي عند تركيزات منخفضة من الأكسجين .

صعود العصارة في الساق

يسلك الماء الممتص - بواسطة المجموع الجذري - طريقه إلى الساق فالأوراق خلال الأوعية الخشبية التي تكون جهازاً متصلاً داخل النبات .

وينتقل الماء - أو على وجه الدقة المحلول المخفف من الأملاح المعدنية والمواد العضوية - ككتلة متماسكة ، وعندما يصل إلى القنوات الخشبية في الورقة يتسرب إلى خلايا النسيج الوسطى حيث يفقد معظمه في عملية النتح . ويسمى تيار الماء الصاعد في عناصر التوصيل الخشبية - بما به من أملاح ذائبة - تيار العصارة (Sap stream) ، ويطلق عليه أيضاً اسم تيار النتح (Transpiration stream) نظراً لأن معظم الماء المنتقل يحل محل ما فقد في عملية النتح ، على أن جزءاً يسيراً جداً من تيار العصارة يتسرب - على طول الطريق الذي يسلكه - إلى الخلايا الحية المجاورة كى يستخدم في سائر العمليات الحيوية.

وسلوك تيار العصارة طريق الخشب قد تبين منذ الوقت الذى بدأت فيه تجارب التحليق (مالبيجى عام ١٦٧١) ، فعندما أزيلت الأنسجة الساقية التى حول الخشب لم تتوقف حركة الماء إلى الأعضاء المتصلة بالساق فوق منطقة الحلقة ، وعلى العكس عندما قطع الخشب فى الساق ظهرت حالة الذبول بسرعة، على الأوراق المتصلة بالساق فوق منطقة الحلقة ، وثمة تجربة أخرى يمكن بواسطتها التدليل على أن الخشب هو الطريق الأساسى لصعود العصارة ، فإذا غمس الطرف السفلى لساق نبات موز حديث القطع فى محلول مائى لأحد الأصباغ كالإيوسين ، لوحظ بعد مدة وجود اللون الأحمر داخل عروق الأوراق . فإذا عملت قطاعات فى الساق أو الأوراق شوهد ذلك اللون مقصوراً على الأوعية الخشبية .

وقد أوضح العالم الأيرلندى « ديكسون » (Dixon) أن الماء يرتفع فى تجاويف الأوعية الخشبية وكذلك عن طريق جذرها بخاصة التشرّب ، إلا أن الماء المنتقل بالوسيلة الثانية يكون نسبة ضئيلة جداً من العصارة الصاعدة ، فعندما غمست الأطراف المقطوعة لمجموعة من فروع نبات الزيزفون فى محلول جيلاتينى سائل ، وللمجموعة مماثلة من فروع نفس النبات فى شمع منصهر ، ثم غمست المجموعتان فى الماء مع مجموعة ثالثة لم تعامل ، لوحظ بعد مدة أن فروع النباتات التى لم تعامل بقيت طبيعية لم تعثرها حالة الذبول ،

أما تلك التي عوملت فقد ذبلت أوراقها ، إلا أن الذبول كان شديداً في حالة المجموعة التي سدت أوعيتها الخشبية بالشمع ، وذلك لأن الشمع قد حال دون صعود العصارة بكلا الطريقين ، وفي حالة المجموعة المعاملة بالجيلاتين كان الذبول أقل حدة ، وذلك لأن الجيلاتين لم يمنع الماء الصاعد بالتشرب ، وإن كانت كميته من الضالة بحيث لا تفي بحاجة الأوراق .

القوى التي تعمل على رفع العصارة :

يدل صعد المزارع المائي الملون في التجربة التي سبق ذكرها على أن القوى الناشئة عن تبخر الماء في الأوراق في عملية النتح كافية لرفع العصارة خلال الخشب في النباتات قصيرة السيقان . ولكن الأمر ليس مقصوراً على مثل هذه النباتات بل يتعداها إلى تلك التي تبلغ ارتفاعاً كبيراً يصل إلى ١٠٠ متر ، وعلى ذلك فآلية انتقال الماء ليست على هذه الدرجة من البساطة . وقد وضعت نظريات كثيرة لتفسير الآلية التي تصعد بها العصارة الخشبية ، ومن المحتمل أن تتضمن العملية أكثر من آلية واحدة ، وفيما يلي دراسة تفصيلية لعدد من الآليات التي تعمل على رفع العصارة :

١ — النظرية الحيوية : على الرغم من أن الأوعية والقصبية التي ينتقل خلالها الماء عناصر ميتة ، إلا أنها على اتصال وثيق بالخلايا الحية ، ولذلك كان يعتقد أن انتقال الماء إلى أعلى يعزى بطريقة ما إلى الخلايا الحية في الساق وأنه لولا قيام هذه الخلايا بمختلف أنواع النشاط الحيوي ما كان الماء ليرتفع إلى الأوراق ، غير أن التجارب التي قام بها ستراسبجر (Strasburger) — عام ١٨٩٣ — قد بينت بوضوح أن الآلية التي ترتفع بها العصارة في النباتات مستقلة عن الخلايا الحية بالساق ، ففي إحدى التجارب قطعت شجرة مسنة من البلوط بالقرب من سطح الأرض ، ثم غمس الطرف المقطوع في محلول من حمض البكريك — وهو ذو تأثير سام على الخلايا الحية — فلو حظ أن محلول الحمض يرتفع ببطء خلال الساق. وعندما أضيف الفوكسين (Fuchsin) إلى المحلول الذي غمس فيه طرف الشجرة المقطوع المدة ثلاثة أيام بعد حمض

البكريك لوحظ صعوده إلى قمة الشجرة خلال الأنسجة التي قتل حمض البكريك خلاياها الحية . وقد أيدت بحوث من تبعه من العلماء تلك النتيجة التي وصل إليها ستراسبجر .

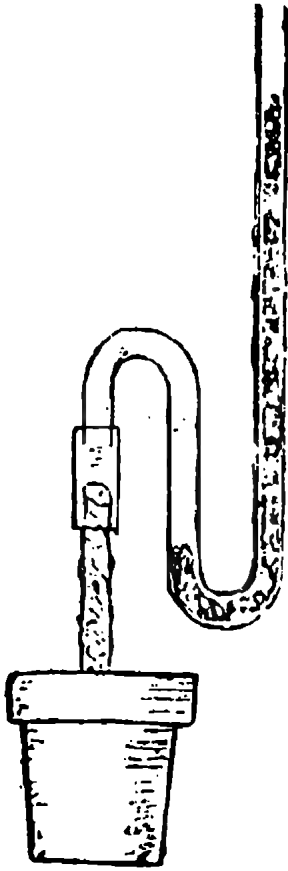
٢ - الضغط الجذري : سبق أن ذكرنا أن العصارة الخشبية ترشح من سطح القطع للسيقان التي قطعت حديثاً ، كما ترشح كذلك من الجروح والثقوب التي تعمل في النبات . ويعزى هذا الرشح إلى ضغط يوجد في العصارة التي تملأ القنوات الخشبية وينشأ عن آلية في الجذر غير واضحة تماماً ومن ثم كانت تسميته « بالضغط الجذري » (Root pressure).

ويمكن توضيح الضغط الجذري بتوصيل أنبوبة زجاجية مثنية ومملئة بالماء بـ سطح القطع بواسطة أنبوبة من المطاط ، فيشاهد بعد فترة تساقط قطرات الماء -- التي حلت محلها العصارة المتدفقة بالضغط الجذري -- من طرف الأنبوبة المثنية (شكل ٣٤٦) . فإذا استبدلت هذه الأنبوبة بمانومتر زئبقي (شكل ٣٤٧) فإنه يمكن تقدير الضغط الجذري ، إذ يرتفع الزئبق بعد مدة في شعبة المانومتر البعيدة عن الساق المقطوعة ، ويكون الفرق بين مستوى سطحى الزئبق في شعبتى المانومتر مساوياً لقوة الضغط الجذري .

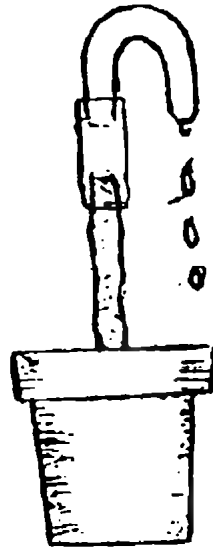
وتختلف القيمة المقدرة للضغط الجذري باختلاف النبات ، ولكنها يندر أن تتجاوز ضغطين جويين . وقد تقل عن ذلك كثيراً في معظم النباتات ، ولا توجد علاقة بين قيمة الضغط الجذري وحجم العصارة المتدفقة من سطح القطع ، ففي بعض أنواع النباتات تتدفق أحجام كبيرة نسبياً من العصارة بتأثير ضغط منخفض نسبياً ، وفي البعض الآخر يحدث العكس تماماً .

وقيمة الضغط الجذري ليست ثابتة في النبات الواحد في مختلف فصول العام ، إذا المعتقد أنه يبلغ أقصى قيمته في الفصول التي لا يحمل النبات فيها أوراقاً ، وعلى الأخص في بداية فصل الربيع قبل تفتح الأوراق الجديدة .

(شكل ٣٤٧)



(شكل ٣٤٦)



جهاز لتوضيح الضغط الجذري ثابت . مرع . وأصبح
النوم زبقى لقياس الضغط الجذري

وتكفى قوة الضغط الجذري - عندما تكون قيمتها ضغطتين جويين -
لرفع العصارة إلى أعلى مسافة ٢٠ متراً تقريباً . إلا أن كثيراً من الأشجار
يزيد ارتفاعها على ذلك كثيراً ، كما أنه قد تندر تمييز الضغط الجذري في أكثر
الأشجار طولاً . وعلى الأخص في المخروطيات . أى أن الضغط الجذري -
حتى عندما يكون في أقصى قيمته - لا يكفى وحده لرفع الماء في الأشجار
العالية . وفي بعض الأحيان قد تكون قوة الضغط الجذري من الكبر بمكان
بحيث ترتفع العصارة إلى ارتفاع كبير ، فقد سجل هوايت (White) -
عام ١٩٣٨ - ضغطاً جذرياً قدرة ٩ ضغط جوية في قطع صغيرة من جلور
الطاهم ، وهذا الضغط يكفى لرفع العصارة ٩٠ متراً أو أكثر ، أى إلى قمة

أكثر النباتات طولاً ، ومع ذلك فإن المعدل الذى تنتقل به العصارة خلال الساق بالضغط الجذرى يقل مائة أو ألف مرة عن معدل الانتقال عندما تكون الظروف مواتية لتتح سريع .

والدليل القاطع على أن صعود العصارة لا يعزى بوجه عام إلى الضغط الجذرى أنه فى منتصف الصيف - عندما تكون حركة الماء خلال الساق سريعة - يصعب تمييز أى ضغط جذرى ، بل على العكس قد يكون هناك شد جذرى . بمعنى أنه إذا قطعت ساق فى هذه الظروف ، وصب فوق سطح القطع مباشرة بعض الماء ، فانه لن يكون هناك إدماء ، بل على العكس يسحب الماء إلى داخل الجذور . وهذا يدل على أن عمود الماء الصاعد يعانى فى هذه الأوقات شداً لا ضغطاً .

يستنتج مما تقدم أنه على الرغم من أن الضغط الجذرى قد يكون فى بعض أنواع النباتات - وتحت ظروف معينة - من بين العوامل التى تساعد على صعود العصارة ، إلا أنه لما تقدم من اعتراضات لا يمكن اعتباره الآلية الأساسية التى تنتقل بواسطتها العصارة خلال النباتات .

٣ - الشرب والخاصة الشعرية : يرتفع الماء فى الجذر السميكة للأوعية الخشبية بخاصة الشرب نظراً لطبيعتها الغروانية ، إلا أن كمية الماء التى ترتفع بهذه القوة ضئيلة جداً ، حيث قد ثبت أن الماء الصاعد يتحرك أساساً فى تجاويف الأوعية وليس على جدرانها ، كذلك تساعد الخاصة الشعرية على رفع العصارة فى الأوعية الخشبية ، إلا أن اتساع هذه الأوعية لا يساعد على رفع الماء إلى علو كبير ، ففى القصيات الضيقة التى يبلغ قطرها ٠,٢ مم يرتفع الماء مسافة ١٥٠ سم ، أما فى الأوعية التى يصل قطرها إلى ٠,٥ مم فإن الماء يرتفع بالقوة الشعرية مسافة ٦ سنتيمترات فقط .

٤ - نظرية التماسك (Cohesion theory) : تفسر نظرية التماسك الطريقة التى يرتفع بها الماء فى النبات ضد الجاذبية الأرضية ، وذلك عندما

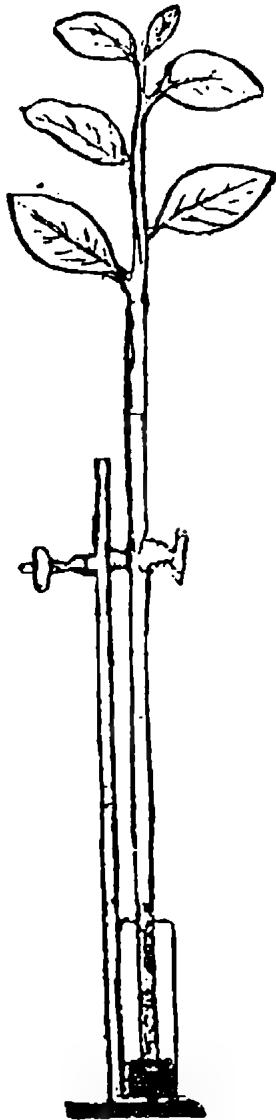
تكون القوة التي تعمل على صعود العصارة ناشئة من الورقة . وملخص هذه النظرية - كما وضعها العالمان ديكسون وجولى - أنه نظراً لقوة التماسك بين جزيئات الماء فإن أعمدة العصارة التي تملأ تجاويف الأوعية الخشبية ترتفع كوحدة متماسكة إلى قمة النبات بقوة شد عظيمة ناتجة عن التتح . وبالإضافة إلى قوة التماسك تعمل قوة أخرى - هي قوة التلاصق (Adhesion force) بين جزيئات الماء وجدران الأوعية الخشبية - على إبقاء عمود الماء معلقاً .

وقد سبق أن ذكرنا عند شرح آلية الامتصاص السلبي أن فقد خلايا النسيج الوسطى في الورقة لبعض مائها أثناء عملية التتح يؤدي إلى أحداث توتر في عمود العصارة في الأوعية الخشبية للورقة يتبعه سحب بقية عمود العصارة إلى أعلى كوحدة متصلة تبتدىء من التربة . وعلى ذلك يمكن تصور الماء في النبات كخيط متصل من جدران الخلايا في النسيج الوسطى إلى الشعيرة الجذرية ، وقد يستمر اتصال هذا الخيط بماء التربة ، فإذا جذب هذا الخيط من نهايته في الثغر - بفعل التتح - فلأنه يسحب من التربة ويرفع إلى الأوراق وهكذا يجلب الماء من مسافات بعيدة في التربة ، ويصل إلى قمم النباتات الشاهقة بفعل قوة الشد الناتجة عن التتح .

وهناك الكثير من الأدلة التي تؤيد نظرية التماسك . فمناصر الخشب تعاني في الحقيقة توتراً عندما يكون النبات واقعاً تحت تأثير ظروف تساعد على سرعة التبخر ، ويتضح هذا التوتر من تقلص الجذع أو الخلايا الخشبية ، وتدل قيمته على أن الخلايا الخشبية واقعة تحت توتر يزيد على ضغط جوى واحد ، ومن المعتقد أن أنواع التغلظات المختلفة لجدر الأوعية تحول دون انطباقها عندما تتعرض لهذا الشد وإلا كانت هذه التغلظات غير ذات موضوع . وقد وجد أن الماء عندما يكون خالياً من الفقاعات الغازية والشوائب الدقيقة يمكن أن يتغلب بوساطة قوة التماسك بين جزيئاته على الشد الموجود في الخشب ، كذلك على الرغم من أن الضغط الجذري يستطيع رفع الماء إلى قيمة قصوى تبلغ ٣٢ قدماً تقريباً فإن غصناً مورقاً ينتج بنشاط يمكن أن يرفع عموداً من الماء إلى ارتفاع يزيد على ذلك كثيراً .

ويمكن توضيح عمل القوة الناشئة عن التثقب بتوصيل ساق ورقة بالطرف العلوى لأنبوبة زجاجية مملوءة بالماء ونحس الطرف السفلى لتلك الأنبوبة في وعاء به زيتون . وملاحظة ارتفاع الزيتون في الأنبوبة ليحل محل عمود الماء الذى امتصه النبات (شكل ٣٤٨) . وقد يستمر ارتفاع الزيتون إلى علو كبير يقدر بعدة صفوف جرية . فاذا وضع مكان الساق النباتية وعاء خزفي مسامي

(شكل ٣٤٨)



جذرية (توضيح أن يجرى الماء من الأوراق بواسطة قوة ترفع عمود الماء الزئبقى)

فإن الزيتون يرتفع كذلك في الأنبوبة . أى أن التبخر من سطح الأوراق - أو من سطح الوعاء المسامي - يسبب ضغطاً سالباً ، أى شداً ، وينتقل هذا الشد خلال عمود الماء إلى الزيتون الذى يسحب في الأنبوبة . ويزداد ارتفاع الزيتون إلى أعلى في الأنبوبة الزجاجية كلما نشطت عوامل التبخر الجوية .

وتتطلب صحة هذه النظرية ألا تسمح أنابيب التوصيل بدخول الفقاعات الهوائية التى إن وجدت يودى تمددها عند الشد إلى تقطع الأعمدة المائية في هذه الأنابيب . ولما كان الكثير من الأوعية والقضبان تحوى بعض الفقاعات الهوائية فإنه لا بد من وجود آلية لفصل هذه الفقاعات من أعمدة الماء الصاعدة فيها ، وفي الواقع تؤدي الجدران الخلوية المبلملة ونقرها المضغوطة ذات التخوت الغالقة إلى عزل ما يتصادف وجوده من فقاعات غازية في أعمدة الماء .

يتضح مما سبق أن صعود العصارة في الساق قد يكون نتيجة لقوة الشد التى يسببها التبخر أو نتيجة لقوة الضغط الجذري من أسفل ، ويتوقف

ذلك على كمية الماء الداخلة إلى النبات والمفقودة منه ، فإذا كان معدل فقد الماء أكبر ارتفع عمود الماء بالشد ، أما إذا كان الامتصاص هو السائد فإن عمود الماء يرتفع بالضغط ، أى أن قوة التماسك والضغط الجذرى متعاونان على رفع الماء إلى قمم النباتات .

للتنح

التنح هو خروج الماء على هيئة بخار من الأجزاء النباتية المعرضة للجو ، وعلى الأخص من الأوراق ، إذ أن معظم التنح يحدث عن طريقها ، وتعتبر العملية في جوهرها بخراً وانتشاراً ، إلا أنها ليست بخراً من سطح معرض خالص . ويعتبر الكثيرون من علماء النبات أن التنح يتميز عن التبخر بأنه عملية حيوية ، إلا أنه على الرغم من أن فقد بخار الماء من الأنسجة الحية يتأثر جزئياً بحيوية الأنسجة فإنه يشبه عملية التبخر الطبيعية إلى حد كبير . ومع أن معدل فقد الماء من نسيج حى يختلف اختلافاً كبيراً عن معدل فقدته من نسيج ميت إلا أن هذا الاختلاف يمكن أن يفسر على أسس ميكانيكية .

وتفقد النباتات — عن طريق التنح — مقادير كبيرة من الماء ، فقد وجد أن ما ينتجه نبات من عباد الشمس تام النمو في يوم معتدل الحرارة والرطوبة يبلغ نحو لتر من الماء ، وأن ما يفقده فدان من نبات القطن في مصر يقدر بنحو خمسين طناً من الماء في اليوم الواحد ، وتبلغ هذه الفقدان أضعاف ما يحفظ به النبات للقيام بسائر عملياته الحيوية .

وتختلف الآراء فيما يمكن أن يكون للتنح من فائدة للنبات ، فمن قائل أن تيار التنح يحمل معه من التربة كمية كافية من المواد الذائبة ويعمل على سرعة توزيعها في النبات ، إلا أن بحوث كثير من العلماء قد أوضحت أنه لا علاقة للتنح بامتصاص النبات للأملاح ، فآلية انتقال الماء تختلف تماماً عن آلية نفاذية الأملاح ، وتم كل من العمليتين منفصلة عن الأخرى تمام الانفصال . ومن قائل أن التنح يعمل على وقاية النبات من حرارة الشمس — وخاصة في وقت

الصيف - حيث تستغل معظم الطاقة الشمسية الساقطة على الأوراق في تبخير الماء ، إلا أن هذا قد لا يكون صحيحاً في حالة النباتات الصحراوية التي أوتيت من التشكلات الجفافية ما يساعدها على تقليل النتح - مع أنها معرضة لحرارة زائدة - وذلك درءاً لخطر الجفاف . وحتى في النباتات الوسطية لا يستفد النتح - وهو في أقصى شدته - غير جزء من الطاقة الشمسية التي تمتصها الورقة . وهو بهذا لا يؤدي دوراً أساسياً ، فالطاقة الممتصة يمكن أن تنتقل ثانية إلى الجو المحيط بوسائل فيزيائية بحتة كالإشعاع والتوصيل ، تماماً كما تنتقل الحرارة من جسم ارتفعت درجة حرارته عن درجة حرارة الوسط المحيط به .

بقى لنا أن نقاءل ، إذا لم يكن للنتح من فائدة تذكر - بل ربما أدى عند اشتداده أو عند نقص المحتوى المائى للتربة إلى حالة ذبول خطيرة على النبات - فلماذا إذن يحدث النتح ؟ . ويمكن الإجابة على هذا السؤال بأن الورقة - وهى طريق النتح - مهياة بتركيبها التشريعى لعملية البناء الضوئى ، وقاد يكون من توافق الصدف أن هذا التركيب الذى يسمح بتبادل الغازات لا يحول دون فقد بخار الماء .

النتح الأدمى والنتح الثغرى :

يتميز النتح إلى نتح أدمى (Cuticular transpiration) إذا كان خروج بخار الماء عن طريق الجدار الخارجى لخلايا البشرة ، وإلى نتح ثغرى (Stomatal transpiration) إذا كان خروج بخار الماء عن طريق فتحات الثغور .

ويمثل النتح الأدمى نسبة ضئيلة تقل كثيراً عن ١٠٪ من النتح الكلى ، ويكاد هذا النوع من النتح أن يكون معدوماً تماماً فى النباتات الصحراوية . إلا أن نسبته قد تصل فى حالات نادرة إلى ٢٥٪ ، وذلك فى أوراق النباتات التى تعيش فى الظل ، ويعتمد ذلك على سمك طبقة الأدمة المتكونة على الجدر الخارجى للبشرة ، فهى سميكة جداً فى النباتات الصحراوية . ورقيقة فى أوراق النباتات الظليلة .

ويسود النتح الثغرى فى النباتات المورقة وهو يشتمل على :

(أ) تبخر الماء من جدر خلايا النسيج الوسطى المشبعة إلى المسافات البينية والغرف الهوائية فى الورقة .

(ب) خروج بخار الماء من هذه الغرف المشبعة إلى الجو الخارجى خلال فتحات الثغور .

ومن ثم يعتمد النتح الثغرى على المحتوى المائى لخلايا النسيج الوسطى وعلى حركة الثغور ، فالثغور عندما تكون مفتوحة تسمح لبخار الماء بالمرور خلالها طالما كان ضغطه فى المسافات البينية أعلى من ضغطه فى الهواء الجوى المحيط بالنباتات ، وعندما تكون مغلقة تعوق خروجه .

طرق تقدير النتح :

يمكن تقسيم الطرق المستعملة فى تقدير النتح تحت ثلاث مجموعات تعتمد على قياس المعايير الآتية :

١ - كمية بخار الماء المفقود .

٢ - النقص فى وزن النبات أو الجزء النباتى المستعمل .

٣ - معدل امتصاص الماء .

طرق تقدير كمية بخار الماء المفقود : وتعتمد إحدى هذه الطرق على تغير لون ورقة كلوريد الكوبلت (ورقة ترشيع مشبعة بمحلول كلوريد الكوبلت ٣٪) من اللون الأزرق - عندما تكون جافة - إلى اللون الوردى عندما يرطبها بخار الماء . ولتقدير النتح يغطى سطح الورقة النباتية بورقة جافة من كلوريد الكوبلت ثم توضع بين لوحين من الزجاج حتى لا تتأثر ورقة الكوبلت بالرطوبة الجوية ، فإذا قدر الوقت اللازم لتحويل ورقة الكوبلت من لون أزرق قياسى إلى لون وردي قياسى أيضاً فإنه يمكن الحصول على قيمة تناسب عكسياً مع معدل النتح . وتستخدم هذه الطريقة فى مقارنة معدل النتح من سطحى ورقة نباتية ومن أوراق نباتية مختلفة ، إلا أن هذه الطريقة تتعرض

لانتقادات أهمها أن الورقة لا تنتج أثناء التجربة نتجاً طبيعياً كما لو كانت تحت الظروف العادية .

وهناك طريقة أخرى تعتمد على جمع ووزن بخار الماء المفقود ، وذلك بوضع الورقة أو الفرع النباتي في حيز محكم - جداره من الزجاج أو من مادة شفافة لا تحجب ضوء الشمس عن النبات - ثم يدفع في الحيز المحتوى على النبات بتيار من الهواء بسرعة معينة ، وتقدر كمية الرطوبة التي يحملها الهواء عند خروجه ، وذلك بإمراره في أنابيب على شكل حرف «U» بها مادة مجففة مثل كلوريد الكالسيوم أو خامس أكسيد الفوسفور ، ثم تعين الزيادة في وزن هذه الأنابيب . وعند القيام بهذه التجربة يعمل جهاز مماثل لا يحتوي على المادة النباتية ، وذلك لتقدير كمية بخار الماء في الجو ، فيكون الفرق بين القيمتين معادلاً لكمية الماء التي نتجها العضو النباتي خلال فترة التجربة . وتستخدم هذه الطريقة لقياس النتج من النباتات وهي في الحقل ، إلا أن وضع النبات أو جزء منه في حيز محدود يجعل النتج منه غير طبيعي .

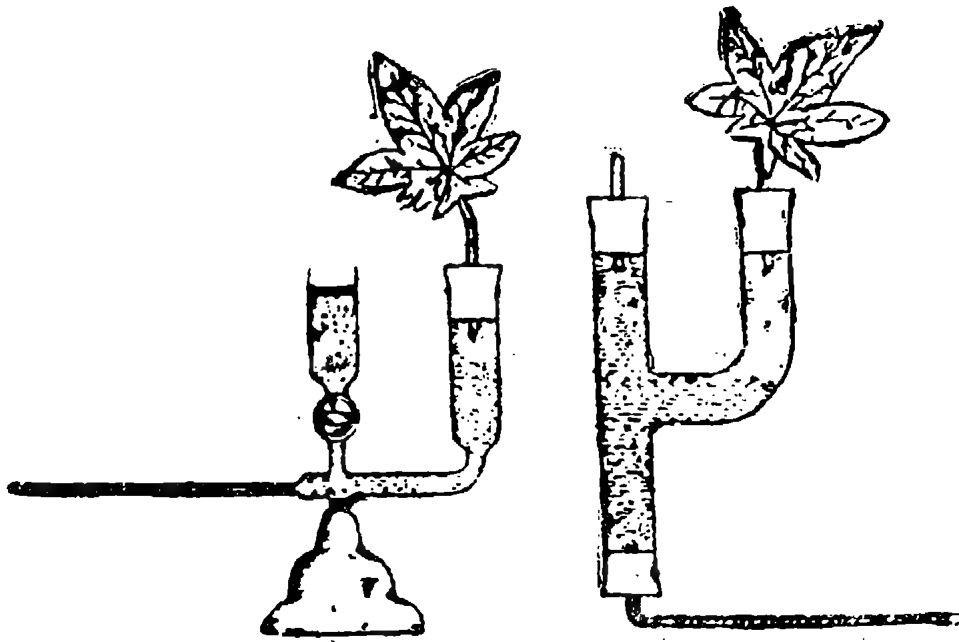
طريقة تقدير النقص في وزن النبات : وهي أكثر الطرق دقة ، وتستخدم لتقدير النتج من نبات نام في أصيص . ويلاحظ في هذه الحالة أن يكون جدار الأصيص غير منفذ للماء ، فإذا لم يكن كذلك فإنه لا بد أن يغطي بغلاف من الألومنيوم ، كما يغطي سطح التربة بطبقة من الشمع حتى لا يكون هناك فقد إلا عن طريق النبات ، ثم يوزن الأصيص وبه النبات على فترات متعاقبة ، وبقدر نقص الوزن في كل مرة ، فيكون معادلاً لما يفقده النبات من الماء في الفترة التي تحدث خلالها المشاهدة . ولا يعيب هذه الطريقة إلا نقص المحتوى المائي للتربة إذا استمرت التجربة مدة طويلة ، إذ من المعروف أن نقص المحتوى المائي يؤثر في امتصاص الماء ومن ثم في معدل النتج .

وقد استخدمت هذه الطريقة كذلك لتقدير النتج لفرع نباتي أو لورقة منفردة ، وذلك بوزنها بمجرد قطعها من النبات بموازين خاصة سريعة ، ثم وزنها بعد برهة وجيزة لا تتجاوز دقيقة أو دقيقتين .

طريقة تقدير الماء الممتص : ويستعمل فيها جهاز البوتومتر (Potometer) ويوضح (شكل ٣٤٩) أنواع البوتومترات الشائعة الاستعمال . وتقتصر هذه الطريقة على تقدير النتج من الفروع والأوراق النباتية المقطوعة ، وذلك بوضعها في الأنبوبة الجانبية للبوتومتر ثم تعيين كمية الماء المتراجعة في الأنبوبة الشعرية ، أى التى امتصها النبات . ولما كانت كمية الماء التى ينتجها النبات تختلف فى كثير من الأحيان عن كمية الماء التى يمتصها ، لذلك يقدر النتج فى هذه الطريقة بوزن الجهاز كله على فترات متعاقبة .

ولما كان معدل النتج يرمز غالباً إلى كمية الماء التى تنفقها وحدة المساحات من السطح الناتج ، لذلك تقدر مساحة الأوراق المستعملة فى التجربة برسم المحيط الخارجى لها على ورقة ثم تتبعه بجهاز البلاينيتر (Planimeter) أى بقياس السطوح (شكل ٣٥٠) ، كما يمكن تقدير المساحة بوزن قطعة من الورق مطابقة للورقة النباتية موضوع التجربة ، ثم مقارنة وزنها بوزن ديسيمتر مربع من نفس نوع الورق .

(شكل ٣٤٩)



نوعان من البوتومترات المستخدمة فى معال الدراسة

(شكل ٣٥٠)



الجهاز الثغري

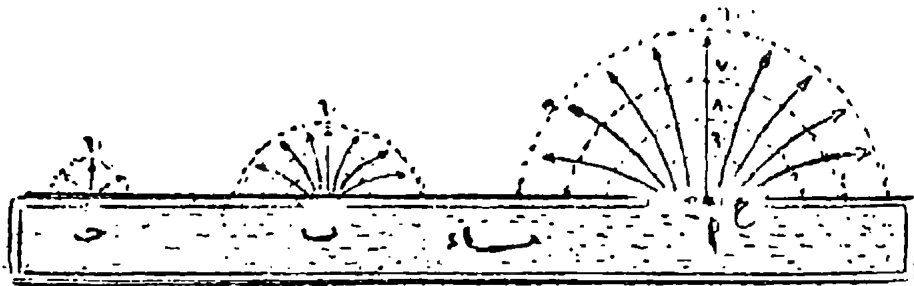
يتكون الثغر من فتحة تحدها خليتان حارستان ، تختلفان عن خلايا البشرة الأخرى في شكلهما الكلوي واحتوائهما على بلاستيدات خضراء ، وكذلك في غلظ جدرهما تغلظاً غير منتظم . إذ أن جدرهما البطينية - أى المواجهة لفتحة الثغر - أكثر تغلظاً من جدرهما الظهرية .

ويختلف عدد الثغور بالنسبة لوحدة المساحات في أوراق النباتات المختلفة اختلافاً كبيراً . إذ أنه يتراوح عادة بين ٥٠ و ٣٠٠ في المليمتر المربع ، وقد يزيد على ذلك في بعض الأحيان . كذلك يختلف توزيع الثغور على سطح الورقة ، فيكون عددها في الغالب أكبر على السطح السفلى منه على السطح العلوى للورقة . وقد يندم وجود الثغور على السطح العلوى لأوراق كثير من النباتات مثل نبات التين المطاط (*Ficus elastica*) ، وقد توجد الثغور على السطح العلوى فقط كما في الأوراق الطافية النباتات المائية كالبنشين الأبيض (*Nymphaea alba*) .

ويلاحظ أن المساحة التى تشغلها فتحات الثغور تبلغ ما بين ٠,٥٪ و ٣٪ فقط من مساحة السطح الكلى للورقة النباتية . ففي نبات القمح مثلاً تبلغ هذه النسبة ٠,٥٢٪ و نبات الشوقان ٠,٩٨٪ . وترتفع في نبات عباد الشمس إلى ٣,١٣٪ .

معدل الانتشار خلال الثغور : من الملاحظ أنه بينما تشغل فتحات الثغور نسبة ضئيلة جداً من مساحة السطح الكلى للورقة فإن انتشار بخار الماء خلالها قد يصل - في بعض الحالات - إلى ٥٠٪ من معدل الانتشار من سطح معرض من الماء يساوى في مساحته مساحة سطح الورقة . ففي نبات القمح مثلاً - حيث تشغل الثغور بـ (٠,٥ ٪) من السطح الكلى للورقة - قد يبلغ مقدار ما تفقده الورقة من بخار الماء بـ (١٠ ٪) مما يفقده سطح مماثل من الماء ، أى أن سرعة انتشار بخار الماء خلال الثغور تعادل ٢٠ مرة سرعة انتشاره من مساحة مماثلة من سطح مائى معرض . ويعزى هذا الاختلاف إلى خواص انتشار الغازات عامة خلال الفتحات الدقيقة . فقد وجد العالمان براون وإسكومب (Brown & Escombe) - عام ١٩٠٠ - أن معدل انتشار الغازات خلال الثقوب الدقيقة يتناسب مع أقطارها ، أى مع أطوال محيطاتها - وليس مع مساحتها كما هو الحال في الثقوب الكبيرة . وهذا يعنى أنه بينما يؤدي تنصيف القطر إلى إنقاص مساحة الثقب إلى الربع فإن معدل الانتشار - على حسب قانون القطر - يتناقص إلى النصف فقط ، أى أن معدل الانتشار لوحدة المساحة من الثقب الصغير قد تضاعف . ويتبع ذلك أن كمية بخار الماء التى تخرج فى وحدة زمنية من عدة ثقوب صغيرة تفوق كثيراً كميته المنتشرة خلال ثقب واحد كبير مساحته تساوى مجموع مساحات الثقوب الصغيرة .

ويوضح (شكل ٣٥١) الظروف التى يتم فيها الانتشار من حاجز عديد الثقوب ومقارنتها بتلك التى يتم فيها الانتشار من ثقب كبير له نفس مساحة (شكل ٣٥١)



رسم تخطيطى يوضح الانتشار خلال حاجز به ثقب عتانة الاطار

ثقوب الصغيرة . والشكل لحوض ممتلئ بالماء ومغطى بحاجز به ثقوب
ا ، ب ، ج) مختلفة المساحة ، وفي الهواء الساكن ينتشر بخار الماء من هذه
ثقوب في اتجاه الأسهم ويميل إلى التراكم فوقها مكوناً طبقات مختلفة الرطوبة
نسبية ، تمثلها الخطوط المتقطعة . وتمثل الأرقام (٦٠ ، ٧٠ ، ٨٠ ، ٩٠)
رطوبة النسبية .

يتبين من هذا الشكل أنه في جانة الثقبين الصغيرين (ب ، ج) تكون
المسافة بين طبقات الرطوبة قليلة ، ومن ثم يكون التدرج الانتشاري
(Diffusion gradient) أشد انحداراً ، ولهذا السبب يزيد معدل الانتشار
ن وحدة المساحة كلما صغر الثقب .

وإذا سد منتصف الثقب الكبير « ا » بحاجز صغير « ح » فإن كمية بخار
ماء التي تنتشر منه لا تنقص كثيراً ، وذلك لتداخل خطوط الانتشار التي
كانت تخرج من مكان الحاجز « ح » مع الخطوط التي تخرج من أجزاء الثقب
لمجاورة ، الأمر الذي يؤدي إلى تعطيل الانتشار ، ولكن إذا فتح ثقب جديد
ساو في مساحته لمساحة الحاجز « ح » وعلى مسافة بعيدة كالثقب « ب » فإن
كمية بخار الماء المنتشرة تزيد كثيراً على مثيلتها من الثقب « ا » بأكمله ، وذلك
لتعديم التداخل بين خطوط انتشار بخار الماء من الثقوب المتجاورة ، مما
يدل على أن سرعة انتشار بخار الماء خلال عدد كبير من الثقوب الصغيرة
لموزعة في مساحة كبيرة تزيد كثيراً على سرعة الانتشار خلال ثقب واحد كبير
مساحته تعادل مجموع مساحات الثقوب الصغيرة . وقد دلت التجارب على أن
تداخل يتعديم تقريباً إذا زادت المسافة بين الثقوب المتجاورة على ثمانية
و عشرة أمثال قطرها .

ويمكن اعتبار بشرة الورقة النباتية ذات الثغور العديدة كحاجز عديد
ثقوب وتوزع الثغور في البشرة بحيث تبلغ سعتها الانتشارية نهايتها القصوى
بند تمام تفتحها ، فعلى السطح السفلي لورقة عباد الشمس مثلاً يبلغ البعد بين
ثغور ثمانية أمثال قطرها تقريباً ، ولو أستغلت السعة الانتشارية للثغور في

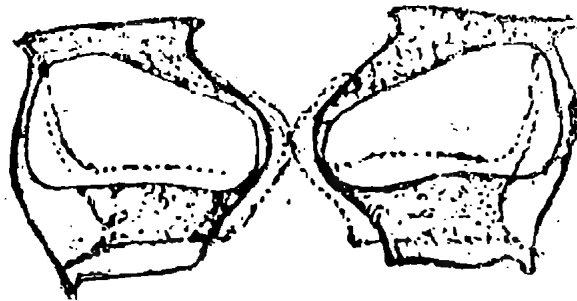
حالة عباد الشمس استغلالا كاملا لأدى ذلك إلى أن يزيد معدل ما تفقده الورقة من الماء من ٣ إلى ٦ أمثال أقصى معدل للنتح وجد في عباد الشمس . يدل ذلك على أن معظم النباتات قلما تستغل الحد الأقصى للسعة الانتشارية للثغور .

بقيت نقطة أخيرة خاصة بالانتشار خلال الثغور . وهى عمق الأنبوبة الثغرية (Stomatal tube) التى تخترقها منطوط انتشار بخار الماء ، وهى تقابل فى الشكل السابق سمك الحاجز المغطى للحوض ، ومن الواضح أنه كلما زاد عمق الأنبوبة الثغرية نقص معدل انتشار بخار الماء .

حركة الثغور وعلاقتها بالضوء والظلام : من المعروف أن الثغور فى معظم النباتات تفتح فى الضوء وتغلق فى الظلام ، وأن تفتحها يحدث نتيجة لامتلاء الخلايا الحارسة وتمدد جدرانها الظهرية ، وبالعكس بسبب نقص امتلاء هذه الخلايا انغلاق الثغور

(شكل ٣٥٢)

(شكل ٣٥٢) .



ويتغير امتلاء الخلايا الحارسة بتغير تركيزها الأزموزى . فعندما يزيد تركيز عصيرها الخلوى يرتفع ضغطها الأزموزى عن الضغط الأزموزى للخلايا البشرة المجاورة ،

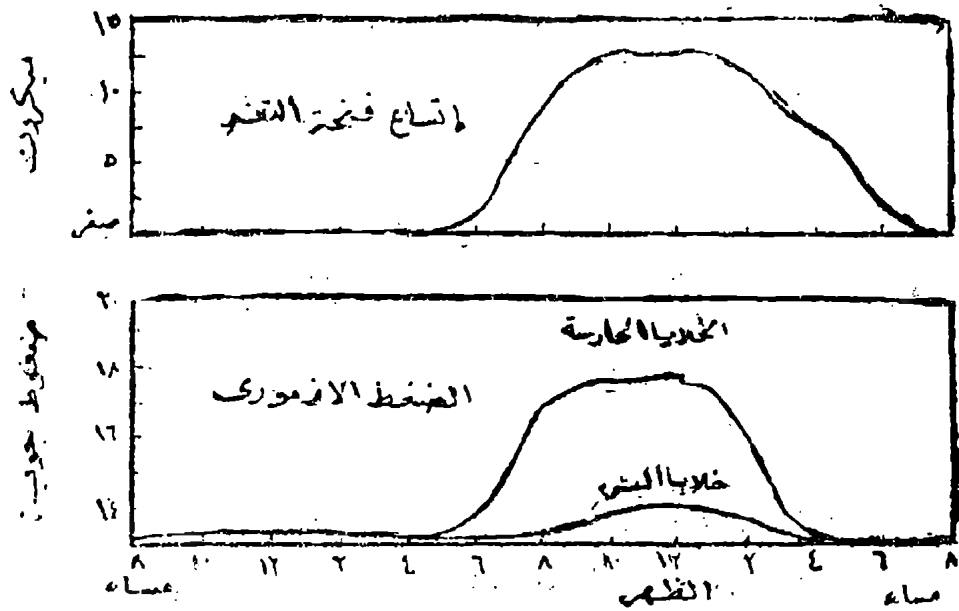
رسم تخطيطى للخلايا الحارسة أثناء انفتاح الثغور وانغلاقها ويمثل البطايل الثقيل وضع هذه الخلايا أثناء الانفتاح ، أما البطايل الخفيف فيمثل وضع الخلايا أثناء الانغلاق .

ويترتب على ذلك انتقال الماء إلى الخلايا الحارسة فيزداد امتلاؤها ويفتح الثغر . أما إذا نقص تركيز العصير الخلوى فى الخلايا الحارسة فإن ضغطها الأزموزى ينخفض ، ويتبع ذلك خروج الماء منها فيقل امتلاؤها وينغلق الثغر . وقد لاحظ كثير من الباحثين حدوث مثل هذه التغيرات فى

الضغط الأزموزي للخلايا الحارسة ، فبينما تكاد تتساوى الضغوط الأزموزية للخلايا الحارسة والخلايا البشرة عندما تكون الثغور مغلقة ، نرى أن الضغط الأزموزي للخلايا الحارسة يصبح - عندما تكون الثغور منفتحة - أعلى منه في الخلايا المجاورة بما يعادل ١٠-١٣ ضغطاً جويّاً .

ويبين (شكل ٣٥٣) العلاقة بين الضغوط الأزموزية للخلايا الحارسة وخلايا البشرة في أثناء حركة الثغور ، وذلك كما وجدها ساير (Sayre) عام ١٩٢٦ .

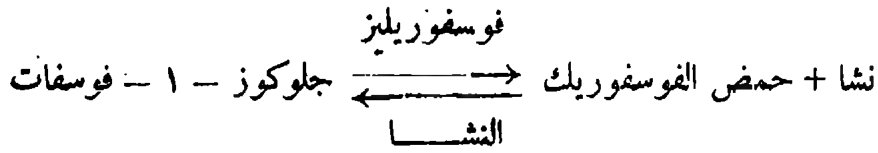
(شكل ٣٥٣)



مقارنة بين التركيب الأزموزي للخلايا الحارسة ملحقاً بالضغط الجوي والارتفاع الثغري يكون .
(عن ساير ، عام ١٩٢٦)

ونظراً لاحتواء الخلايا الحارسة على بلاستيديات خضرة فقد عزيت زيادة تركيز عصيرها الخلوي - ومن ثم زيادة امتلائها - إلى السكريات المتكونة نتيجة لنشاط عملية البناء الضوئي في أثناء النهار ، إلا أن كفاءة هذه العملية في الخلايا الحارسة لا يمكن أن تؤدي بمفردها إلى انفتاح الثغر ، وإلا تطلب ذلك وقتاً أطول بكثير من الذي تنفتح فيه الثغور عند تعرضها للضوء . لذلك يرى البعض أن زيادة الضغط الأزموزي لا يتصل اتصالاً مباشراً بعملية

البناء الضوئي بل يرجع إلى تحلل النشا - الذي ثبت وجوده دائماً في الخلايا الحارسة - إلى سكرات ذائبة . وقد لوحظ فعلاً أن المحتوى النشوي للخلايا الحارسة يقل عندما تكون الثغور مفتوحة ويرتفع عندما تنغلق . ويحدث تحول النشا إلى سكر والسكر إلى نشا بفعل إنزيم فوسفوريليز النشا (Starch phosphorylase) ، وتوضح المعادلة الآتية طبيعة التفاعل الذي يتم في وجود الفوسفات غير العضوية :



وقد أوضح ين وتنج (Yin & Tung) - عام ١٩٤٨ - وجود هذا الإنزيم في البلاستيدات الخضر بالخلايا الحارسة . وتعتمد نقطة الاتزان في هذا التفاعل على الرقم الإيدروجيني للوسط ، وقد وجد هينز (Hanes) - عام ١٩٤٠ - أن ارتفاع الرقم الإيدروجيني إلى حوالي ٧ يساعد الاتجاه التحليلي للتفاعل ، وأن انخفاضه إلى ٥ أو أقل يساعد الاتجاه البنائي ، وعلى ذلك فإن تركيز جلوكوز - ١ - فوسفات يكون عند الرقم الإيدروجيني ٧ أعلى منه عند الرقم الإيدروجيني المنخفض .

يمكن إذن تفسير انفتاح وانغلاق الثغور كما يلي : في الظلام يتراكم ثاني أكسيد الكربون الناتج من عملية التنفس في الخلايا الحارسة فتزداد درجة حامضية عصيرها الخلوي ، وهذا يساعد الاتجاه البنائي للإنزيم (سكر ← نشا) فيخفض بذلك الضغط الأزموزي للخلايا الحارسة ويقل امتلاؤها فينغلق الثغر . أما في الضوء فإن ثاني أكسيد الكربون المتراكم يستهلك في عملية البناء الضوئي ويتبع ذلك انخفاض درجة حامضية العصير الخلوي في الخلايا الحارسة وهذا يلائم الاتجاه التحليلي للإنزيم (نشا ← سكر) ، وعلى ذلك يرتفع الضغط الأزموزي للخلايا الحارسة ويزداد امتلاؤها فيفتح الثغر . ويؤيد هذا التفسير ملاحظته سائر من انفتاح ثغور أوراق نبات الحميض (Rumex patienta) في الظلام إذا أحيطت بنحو من بخار الأمونيا ،

انغلاقها في الضوء إذا وجدت في جو حامضي ، وكذلك وجد سكارث (Scarth) أن الرقم الإيدروجيني للخلايا الحارسة يتغير من ٦ إلى ٧,٤ في ضوء ، على حين يصل إلى ٥ أو أقل في الظلام .

وعلى الرغم من أن التفسير السابق لآلية انفتاح الثغور وانغلاقها يقدم سيراً مقبولاً لمعظم الحقائق المشاهدة ، فقد ظهر في عام ١٩٦٨ رأى غير نهومنا عن فسيولوجية الثغور . وخلاصة الرأى الذى تزعمه العالم اليابانى فوجينو (Fujino) وعدد من العلماء الأمريكين أن أيون البوتاسيوم (بو+) محرك إلى الخلايا الحارسة عند انفتاح الثغور ، وقد يصل تركيزه إلى ٥,٥ نزيئى ، وهذا كاف لزيادة الضغط الأزموزى ومن ثم انفتاح الثغور . إذا نقلت الأوراق إلى الظلام تحرك البوتاسيوم من الخلايا الحارسة إلى الخلايا مجاورة . ومن ثم تنغلق الثغور .

وقد يصحب أيونات البوتاسيوم في دخولها أنيونات مناسبة مثل الكلوريد كل -) غير أن راشك وهمبل (Raschke and Humble) عام ١٩٧٣ يشاهد ذلك في نبات الفول ، بل كانت حركة البوتاسيوم إلى الخلايا الحارسة مصحوبة بخروج عدد مكافئ من أيونات الإيدروجين (يد +) هذا من شأنه أن يرفع الرقم الإيدروجينى للخلايا الحارسة . ويعتقد أن صدر الإيدروجين هو الأحماض العضوية - مثل حمض المالك - التى تكون في الخلايا الحارسة استجابة للعوامل التى تسبب انفتاح الثغور . ويتحد وتاسيوم مع أنيونات تلك الأحماض وينتج عن ذلك ارتفاع الضغط الأزموزى .

وقد يكون ضخ البوتاسيوم إلى الخلايا الحارسة مرتبطاً بعملية النقل الأيضى وبطاقة يزودها الضوء ، غير أن هذا التفسير يتعارض مع ما شوهد من انفتاح للثغور في الظلام في جو خال من ثانى أكسيد الكربون ، وكذلك فتاحتها في الظلام عند رفع الرقم الإيدروجينى للخلايا الحارسة بتعريضها لثمن بخار الأمونيا ، وفي كلتا الحالتين يصحب الانفتاح تحرك للبوتاسيوم

إلى الخلايا الحارسة . وعليه فلا يعتبر التفسير السابق لميكانيكية حركة البوتاسيوم كافياً ، وما زال الموضوع يتطلب مزيداً من الدراسة .

على أن هناك عوامل أخرى غير الضوء تؤثر في حركة الثغور ، أهمها المحتوى المائي للورقة ودرجة الحرارة . فنقص المحتوى المائي قد يؤدي إلى انغلاق الثغور جزئياً أو كلياً حتى في وجود الضوء . وقد لاحظ كثير من الباحثين أن الثغور في أوقات الجفاف تنفتح في الساعات الأولى من الصباح المبكر فقط ثم تغلق ببقية النهار وطيلة الليل ، ويرجع السبب في انغلاق الثغور عند نقص المحتوى المائي إلى ازدياد تركيز أيون الإيدروجين في الخلايا الحارسة إذ أن نقص المحتوى المائي للورقة يزيد من تركيز السكر بها نتيجة لتحلل النشا ومن المعروف أن زيادة المحتوى السكري في الخلايا من شأنه أن يزيد معدل التنفس وبسبب انخفاض البناء الضوئي ، وعلى ذلك يتراكم ثاني أكسيد الكربون ويسبب انغلاق الثغور رغم وجود الضوء .

ويعتمد تأثير درجة الحرارة جزئياً على الظروف الجوية الأخرى ، فعندما يكون الضوء وغيره من العوامل ثابتاً ومناسباً يزداد انفتاح الثغور في نباتات القطن والدخان بارتفاع درجة الحرارة إلى ٢٥-٣٠ م ، ولكنه يتناقص إذا ارتفعت درجة الحرارة عن ذلك . وفي معظم أنواع النباتات يتعذر انفتاح الثغور عند درجات الحرارة القريبة من الصفر المئوي . على أن درجات الحرارة المرتفعة نسبياً (حوالى ٤٠ م) تسبب انفتاح الثغور في بعض أنواع النباتات في الظلام .

العوامل الخارجية التي تؤثر في معدل النتح :

يتبع النتح نظاماً يومياً خاصاً ، فيزداد معدله في ساعات النهار وينخفض في الليل ، ويصل هذا المعدل إلى درجته القصوى عند الظهيرة أو بعدها بقليل . وعند مقارنة المنحنى الذى يمثل النتح بالمنحنىات التى تمثل العوامل الجوية المختلفة - كالضوء ودرجة الحرارة والرطوبة وسرعة الرياح - يتضح أن هذه العوامل تؤثر في النتح بدرجات متفاوتة ، إلا أن أبحاث العالمين بريجز وشانتر

(Briggs & Shantz). وغيرهما دلت على أن الإشعاع الشمسي هو أكثرها ارتباطاً بالنتح ، فهو - بالإضافة إلى أنه العامل المهم في حركة الثغور - يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الجو وانخفاض رطوبته النسبية .

ويحدث النتح نتيجة الفرق بين ضغط بخار الماء في الغرف الهوائية ورقة - وهو عادة ضغط تشيع - وضغطه في الجو المحيط بالنبات ، وهو مادة دون ضغط التشيع ، فيزداد النتح بزيادة هذا الفرق وينخفض بنقصه . سنحاول في إيجاز دراسة تأثير العوامل الجوية سالفة الذكر على هذا الفرق ، بالتالي على معدل النتح .

١ - رطوبة الجو النسبية : يقصد بالرطوبة النسبية النسبة بين كمية بخار الماء الموجودة فعلاً في حيز ما من الهواء الجوى والكمية اللازمة لتشيع الهواء في هذا الحيز في درجة الحرارة نفسها ، وذلك لأن كمية بخار الماء اللازمة للتشيع زداد بارتفاع درجة الحرارة وتنقص بانخفاضها . ويعبر عادة عن الرطوبة النسبية بنسبة مئوية ، فمثلاً إذا كانت الرطوبة النسبية ٥٠٪ عند درجة ٢٥°م إن ذلك يعنى أن الهواء يحمل ٥٠٪ من جميع بخار الماء الذى يمكن أن يحمله عند هذه الدرجة في حالة التشيع .

ولما كانت ضغوط الغازات تتناسب طردياً مع كميتها (حسب قوانين غازات) فإنه عند درجة حرارة معينة - يتناسب ضغط بخار الماء في حجم معين تناسباً طردياً مع كميتها ، أى مع الرطوبة النسبية ، ويبين (جدول ٢٢) ضغط بخار الماء في درجات مختلفة من الرطوبة عند درجتى حرارة ٢٠°م ، ٣٠°م .

جدول (٢٢) ضغط بخار الماء في درجات مختلفة من الرطوبة

ضغط بخار الماء (مم زئبق)		الرطوبة النسبية
عند ٣٠°م	عند ٢٠°م	
٣١,٨٥	١٧,٥٥	٪١٠٠
٢٥,٤٨	١٤,٠٤	٪٨٠
١٩,١١	١٠,٥٣	٪٦٠
٦,٣٧	٣,٥١	٪٢٠
٣,١٨	١,٧٥	٪١٠

فإذا كانت الرطوبة النسبية في الغرف الهوائية للورقة ١٠٠٪ وفي الجو الخارجى ٨٠٪ فإن الفرق بين ضغط بخار الماء في الداخل والخارج عند درجة ٢٠°م يعادل ٣,٥١مم زئبق (١٧,٥٥ - ١٤,٠٤) ، فإذا انخفضت رطوبة الجو النسبية إلى ٦٠٪ مثلاً فإن الفرق بين ضغطى بخار الماء يصبح ٧,٠٢ مم زئبق (١٧,٥٥ - ١٠,٥٣) . وحيث أن معدل انتشار غاز من مكان إلى آخر يتناسب طردياً مع الفرق بين ضغطية في المكانين فإن كمية بخار الماء التي تفقدها الورقة عندما تكون رطوبة الجو النسبية ٦٠٪ هي ضعف ما تفقده عندما تكون الرطوبة ٨٠٪ ، وذلك بفرض عدم تغير العوامل الأخرى التي تؤثر في معدل النتح . أى أن معدل النتح يتناسب تناسباً عكسياً مع الرطوبة النسبية .

٢ - درجة الحرارة : يزداد معدل النتح بارتفاع درجة حرارة الورقة النباتية أو بارتفاع درجة حرارة كل من الورقة والجو الخارجى ، ويعزى ذلك إلى زيادة الفرق بين ضغط بخار الماء في الغرف الهوائية في الورقة وضغطه في الجو الخارجى وكذلك إلى زيادة معامل انتشار بخار الماء بارتفاع درجة الحرارة .

ويتضح أثر درجات الحرارة في الفرق بين ضغطى بخار الماء في داخل الورقة وخارجها من المثل الآتى : نفرض أن ورقة نباتية درجة حرارتها ٢٠°م تنتح في جو درجة حرارته ٢٠°م ورطوبته النسبية ٨٠٪ ، فيكون الفرق بين ضغط بخار الماء في الغرف الهوائية المشبعة وضغطه في الجو الخارجى معادلاً ٣,٥١مم زئبق . فإذا ارتفعت درجة حرارة الورقة والجو الخارجى إلى ٣٠°م - وبقيت الرطوبة النسبية داخل وخارج الورقة ثابتة - فإن ضغط بخار الماء في الغرف الهوائية المشبعة يزداد إلى ٣١,٨٥مم زئبق (وهو ضغط التشبع) ، أما ضغط بخار الماء في الخارج فيزداد إلى ٢٥,٤٨مم زئبق ، وعلى ذلك يصبح الفرق بين ضغطى بخار الماء مساوياً ٣١,٨٥ - ٢٥,٤٨مم أى ٦,٣٧مم زئبق وهو ما يقرب من ضعف الفرق الأول ، وهذا يؤدي إلى زيادة معدل النتح إلى الضعف . أما إذا انخفضت رطوبة الجو النسبية بارتفاع درجة

حرارته - وهذا ما يحدث عادة - فإن ذلك من شأنه أن يزيد من قدرة الجو على التحمل ببخار الماء ، وهذا بدوره يساعد على زيادة التبخر من الأوراق .

٣ - الضوء : يؤثر الضوء في النتج تأثيراً غير مباشر ، فهو فضلاً عما له من تأثير في حركة الثغور فإنه يسبب رفع درجة حرارة الورقة . فعندما تمتص الأوراق الحضر الطاقة الضوئية تستخدم جزءاً منها في عملية البناء الضوئي ، ولكن الجزء الأكبر من هذه الطاقة يتحول إلى طاقة حرارية ترفع درجة حرارة الورقة عن الجو وينتج عن ذلك زيادة بخار الماء في الغرف الهوائية ، وبالتالي زيادة الفرق بين ضغط بخار الماء في داخل الورقة وخارجها ، وهذا يؤدي إلى زيادة النتج ، ويتراوح الفرق بين درجة حرارة الأوراق المعرضة لضوء الشمس المباشر ودرجة حرارة الجو عادة ما بين ٥ و ١٠° م أو أكثر . كذلك يسبب الضوء زيادة نفاذية الأغشية البلازمية ، فيسهل مرور الماء إلى الجدار الخلوي وهذا يؤدي إلى زيادة تركيز بخار الماء في الغرف الهوائية ، فيرتفع تبعاً لذلك معدل النتج .

٤ - حركة الهواء : تعمل حركة الهواء على إزالة الجو المشبع ببخار الماء الملاصق للسطح الناتج وإحلال هواء أقل منه تشبعاً محله ، فتزداد بذلك قيمة الفرق بين ضغط بخار الماء في داخل الورقة وخارجها ، وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة معدل النتج . كذلك تسبب التيارات الهوائية ثنى الأوراق واعتدالها - أي تقلص المسافات البينية ثم تمددها - على التعاقب مما يؤدي إلى طرد الهواء المشبع ببخار الماء من الغرف الهوائية عند الانثناء ، ودخول هواء أكثر جفافاً عند الاعتدال ، فيعمل على زيادة التبخر من الخلايا ، ويزداد تبعاً لذلك معدل النتج ، إلا أنه إذا تجاوزت شدة الرياح حداً معيناً فإن الثغور قد تنغلق ، ومن ثم ينقص معدل النتج بدرجة كبيرة .

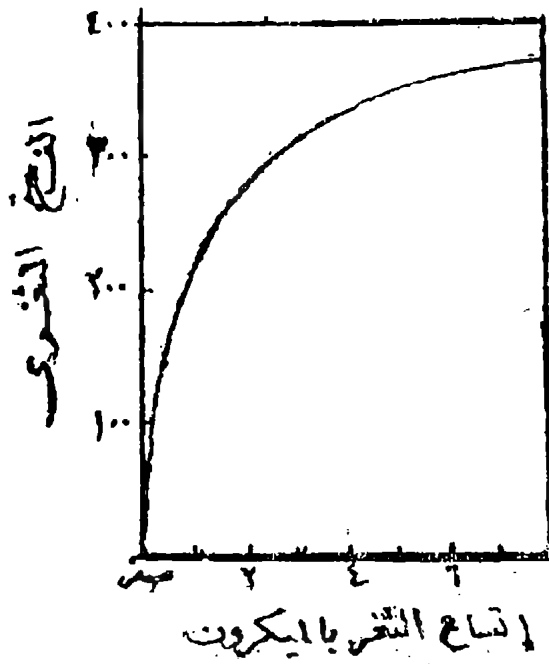
العوامل الداخلية التي تؤثر في معدل النتج :

١ - الفتحة الثغرية : لما كانت فتحات الثغور هي الطريق الأساسي للبخار المفقود من النباتات فإنها تعتبر عاملاً مهماً من عوامل النتج ، فبدونها أن

انغلاق هذه الفتحات تماماً يؤدي إلى انعدام النتج تقريباً، كما أن زيادة انفتاحها يؤدي إلى زيادة معدل النتج بدرجة قد تسبب ذبول النبات . وتدل نتائج البحوث الكثيرة التي قام بها لوفتفيلد (Loftfield) - عام ١٩٢١ - على أنه عندما تكون الثغور في تمام انفتاحها فإن النتج يكون عبارة عن عملية بخر عادية تتأثر بالعوامل الخارجية فقط ، وهي الرطوبة والحرارة وحركة الرياح ، وتظل هذه العوامل هي المنظمة للنتج إلى أن تصل فتحات الثغور إلى نصف اتساعها أو أقل ، وعندئذ يبدأ تحكم الفتحة الثغرية في معدل النتج ، فيقل هذا المعدل كلما ضاقت الفتحة الثغرية (شكل ٣٥٤) . ومن الواضح أنه عندما يكون النتج الثغري خاضعاً لتغير اتساع الفتحات الثغرية فإن أقطار هذه الفتحات

وليست مساحتها - هي التي تسيطر على معدل انتشار بخار الماء خلالها .

وبدسي أن زيادة عدد الثغور في الوحدة المربعة من مساحة الورقة يزيد من معدل النتج ، وكذلك يتأثر هذا المعدل بالطريقة التي تتوزع بها الثغور : فمثلاً تسعج الثغور الموجودة على السطح العلوي للأوراق بفقد كمية من الماء أكبر مما يسمح به عدد مساو على السطح السفلي ، وذلك لأن الثغور الموجودة على السطح السفلي أقل



الملاحة بين اتساع فتحة الثغور ومعدل النتج للثغري في ورقة نبات البان (Birch) ، وذلك بالمليجرام لكل ٢٥ سم^٢ من مساحة الورقة في الساعة (ستواقت ١٩٣٢) .

تعرضاً للعوامل الجوية من ثغور السطح العلوي .

٢ — المحتوى المائى للخلايا الناحية: من المؤلف أنه إذا غمست قطعة من ورق الترشيح فى الماء ثم عرضت للجو فإن معدل فقد الماء منها يكون عالياً فى أول الأمر نظراً لتشبعها ثم لا يلبث هذا المعدل أن يتضاءل تدريجياً نظراً لهبوط محتواها المائى . ولا يختلف ما يحدث فى خلايا الورقة عن ذلك كثيراً ، فكما كانت مشبعة بالماء زاد معدل البخر إلى الغرف الهوائية ، وزاد تبعاً لذلك معدل النتح . ويرجع ذلك إلى أنه فى حالة التشبع التام بالماء تكون مسام ورقة الترشيح أو الجدر الخلوية ممتلئة تماماً بخيوط شعرية مائية تتصل سطوحها الطرفية بالجو المحيط اتصالاً مباشراً ، ومن ثم يكون البخر فى هذه الحالة مماثلاً للبخر من سطح مائى معرض . ويستمر الحال على ذلك طالما كان المدد المائى الذى يصل إلى الورقة معادلاً لما تفقده فى عملية النتح . فإذا ما ارتفع معدل النتح إلى حد أن يصبح ما تفقده خلايا النسيج الوسطى من الماء أكثر مما يصل إليها منه ، فإن المحتوى المائى لأنسجة الورقة يتناقص تدريجياً ، وتراجع الخيوط المائية داخل المسام الدقيقة وتزداد درجة تقعر نهاياتها الطليقة ، ويزداد تبعاً لذلك توترها السطحي ، الأمر الذى يؤدى إلى بطء التبخر منها وانخفاض معدل النتح . وبديهي أن انخفاض المحتوى المائى للورقة يؤدى آخر الأمر إلى حالة ذبول ، وقد تسبب حالات الذبول الشديد ضرراً بالغاً للخلايا النباتية .

٣ — التحورات النباتية التى تؤثر فى النتح: تتميز النباتات التى تنمو فى البيئة الجافة ببعض تحورات تعمل على تقليل النتح ، ومن هذه التحورات ما يأتى :
(١) وجود الثغور غائرة تحت مستوى البشرة ، كما هو الحال فى أوراق نباتات الصنوبر والمطاط والرم ، وهذا يؤدى إلى أن يتضاءل تأثير التفتح الثغرى فى النتح ، إذ أن الطريق الذى يسلكه بخار الماء عند انتشاره إلى الخارج يزداد طولاً . وينتج عن ذلك أن يصبح التدرج الانتشارى خلال هذا الطريق أقل انحداراً منه عندما يكون قصيراً ، كما أن الهواء الذى يحيط بالفتحات الثغرية مباشرة فى حالة الثغور الغائرة — وهو الموجود بالتجاويف — يكون أكثر رطوبة من الهواء الجوى .

(ب) ترسب طبقة من الكيوتين على الجدر الخارجية لخلايا البشرة لمنع تبخر الماء منها ، وقد ترسب طبقة شمعية على سطوح الأوراق وغيرها من أعضاء النبات ، كما قد توجد شعيرات كثيفة ، وتعمل هذه التراكيب مجتمعة أو منفردة على وقاية النباتات من خطر النتح .

(ج) نقص مساحة السطح الناتج بالنسبة لحجم النبات ، ففي بعض النباتات — مثل بعض أنواع الكاكتوس — تكون الأوراق صغيرة أو غير موجودة ، وقد تتحول إلى أشواك ضئيلة الحجم نسبياً ، وبعض الشجيرات والأشجار الصحراوية تحمل أوراقاً في أثناء الفصول المطيرة ولكنها تتخلص منها في أوقات الجفاف . ويطلق على هذه التحورات اسم « التشكلات الجفافية » ، إذ يغلب وجودها في نباتات البيئات الجافة ، وتعمل على تقليل النتح في وقت الجفاف .

التوازن المائي في النباتات

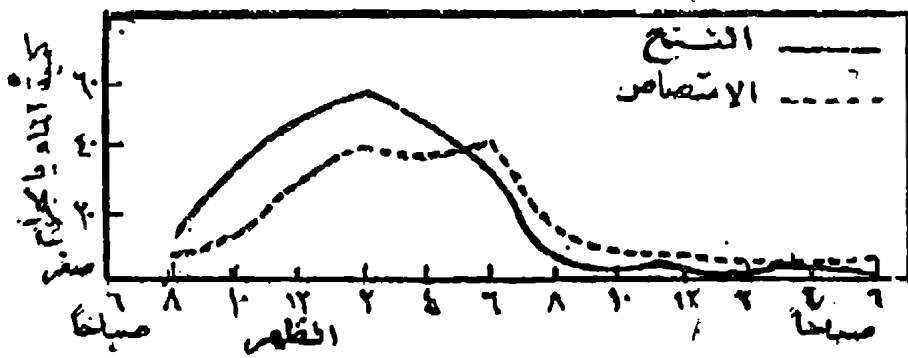
يتبين مما تقدم أن المحتوى المائي للنبات يتأثر بعاملين مهمين : أولهما امتصاص الماء من التربة ، وثانيهما فقد الماء عن طريق النتح ، ولا بد أن يكون هناك توازن بين هذين العاملين حتى لا ينقص المحتوى المائي للنبات بدرجة تضر به ، إذ لو اختلف هذا التوازن بازدياد معدل النتح كثيراً عن معدل الامتصاص للنبات وهلك .

وليس معنى ذلك أن يكون هذا النتح والامتصاص متناسبين تناسباً طردياً على الدوام . فقد ينتح النبات الماء بدرجة أسرع من امتصاصه له ، وعلى العكس قد يمتص النبات الماء من التربة بدرجة تفوق ما يفقد منه بالنتح . وعندما يكون فقد النبات للماء أسرع فإن المحتوى المائي للنبات بأكمله يعاني نقصاً ، ويكون هذا النقص واضحاً في الأوقات التي تساعد على اشتداد النتح ، ففي منتصف النهار في يوم مشمس صاف تفقد معظم النباتات أكثر مما تمتص من الماء ، وقد يصل النقص في المحتوى المائي إذ ذاك إلى ٢٥٪ من قيمته القصوى . ومن المؤلفوف في هذا الوقت من اليوم أن نشاهد النباتات العشبية النامية وهي

تعاى ذبولاً مؤقتاً ، لا يلبث أن يزول قرب آخر النهار عندما ينخفض معدل النتج ويزداد معدل الامتصاص .

ويمكن القول بوجه عام أن معدل النتج يزداد بسرعة فى الصباح ويصل إلى أقصاه بعد الظهر بقليل ، أما معدل الامتصاص فيزداد ببطء ويصل إلى درجته القصوى فى وقت متأخر من فترة بعد الظهر ، وإذ ذاك يأخذ معدل النتج فى التناقص بدرجة أسرع من معدل الامتصاص ، ويستمر الامتصاص عادة أعلى من النتج طول الليل . ويوضح الشكل (٣٥٥) معدل النتج والامتصاص فى يوم كامل لنبات عباد الشمس ، ولا يختلف شكل المنحنيات كثيراً فى الأنواع المختلفة من النباتات .

(شكل ٣٥٥)



متوسط معدل النتج والامتصاص لنبات عباد الشمس فى يوم مشمس حار من أيام الصيف (عن كرامر ١٩٣٧) .

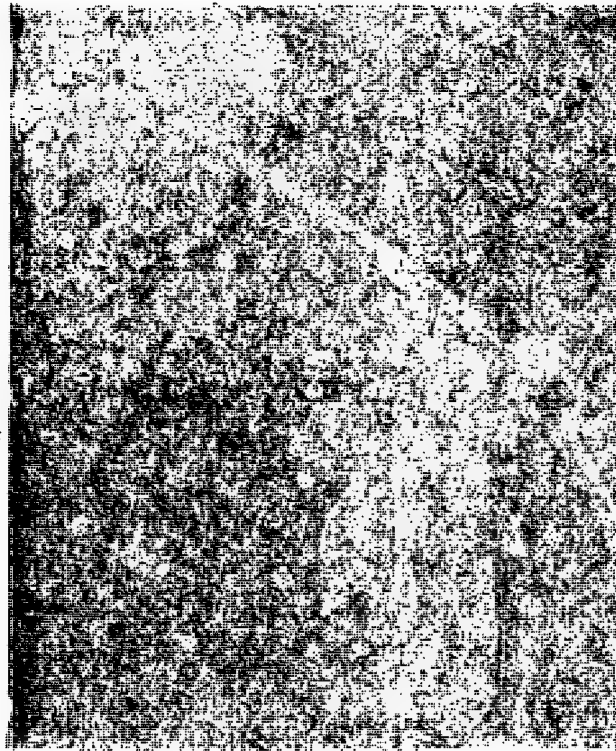
ويمكن تفسير هذه المنحنيات على النحو التالى : فى الصباح عندما تفتح الثغور وترتفع درجة حرارة الورقة والهواء ، يزداد الفرق بين ضغط بخار الماء فى المسافات البينية والجو الخارجى ، ويزداد النتج تبعاً لذلك . أما الامتصاص فلا يزداد معدله إلا حينما تصل الزيادة فى قوة الامتصاص الأزموزية الناشئة فى خلايا الأوراق — نتيجة لفقد الماء — إلى منطقة الامتصاص فى الجذور ، وهى عملية تتطلب بعض الوقت . وقرب نهاية النهار — عندما تنخفض درجة الحرارة وتنغلق الثغور — يتناقص النتج سريعاً ، ولكن-

الامتصاص يستمر حتى تعود قوة الامتصاص الأزموزية لأنسجة النبات إلى حالتها الطبيعية ، وعلى ذلك فيحدث عادة بعض الامتصاص ، حتى في الصباح المبكر ، عندما يكون النتح • معدماً تقريباً .

الإدماع

لا يقتصر فقد النبات للماء على خروجه منه في صورة بخار أثناء عملية النتح ، بل قد يخرج كذلك على هيئة قطرات مائية يمكن رؤيتها في الصباح الباكر عند النهايات الطرفية لأوراق بعض النباتات ، وخاصة نباتات الفصيلة النجيلية ونباتات القلقاس وأبي خنجر والكرنب والطماطم (شكل ٣٥٦) وتسمى هذه الظاهرة « الإدماع » (Guttation) ، وتعزى إلى الضغط الجذري .

(شكل ٣٥٦)



الإدماع من أوراق نبات الطماطم

ويحدث الإدماع عادة عندما تكون الظروف ملائمة لامتصاص الماء بسرعة بواسطة الجذور ، ولكنها في نفس الوقت تؤدي إلى أن يكون النتح

بطيئاً أو معدوماً . وتكثر هذه الظروف في معظم المناطق المعتدلة عند نهاية فصل الربيع حينما تتعاقب الليالي الباردة مع نهار دافئ . ويشاهد الإدماع إذا ذاك بكثرة في الليل وفي الساعات الأولى من الصباح الباكر ، ولذلك كان يعتقد خطأ أن قطرات الإدماع ما هي إلا ندى .

وتخرج قطرات الإدماع عن طريق أجهزة خاصة تسمى « الأجهزة الدمعية » (Hydathodes) ، ويتكون الجهاز الدمعي في بعض النباتات من خلية بشرية متخصصة وغير متصلة بالجهاز الوعائي ، ولكنه في بعض النباتات الأخرى يتكون من خلايا مفككة تتصل بالجهاز الوعائي ، وتفتح إلى الخارج بفتحة خاصة تسمى الثغر المائي (Water stoma) ، وهو يختلف عن الثغور العادية في تركيبه وفي بقائه مفتوحاً على الدوام .

والقطرات الدمعية ليست ماء نقياً تماماً ، بل تحوى على الأقل آثاراً لعدد من المواد الذائبة مثل السكريات والأحماض الأمينية والأملاح المعدنية ، وقد تتكون رواسب محلية عند حوافي الأوراق ، وذلك إذا تبخر ماء الإدماع بسرعة ، وفي بعض الأحيان تمتص النباتات القطرات الدمعية مرة ثانية . وعلى الرغم من أن كمية الماء التي تخرج من نباتات معظم المناطق المعتدلة — عن طريق الإدماع — قليلة عادة ، فإن بعض نباتات المناطق الاستوائية تفقد كمية كبيرة بهذه الطريقة ، فقد قدر ما تفقده ورقة صغيرة من أحد أنواع القلقاس (*Colocasia nymphaefolia*) — التي تستوطن الهند — بحوالى ١٠٠ سم^٣ من الماء في ليلة واحدة عن طريق الإدماع .

ليست مستقلة بل هي تابعة للحياتية وتحت تأثيرها. وقد عرفت أن هذه التحويلات الكيميائية لا تتم إلا بوجود الإنزيمات.

الباب الثالث والثلاثون

الحياة النباتية لا تتم إلا بوجود الإنزيمات. وقد عرفت أن هذه التحويلات الكيميائية لا تتم إلا بوجود الإنزيمات.

تتميز الخلايا الحية بقدرتها على إتمام كثير من التحويلات الكيميائية، مثل بناء مركبات معقدة من مواد بسيطة التركيب، أو تحليل ذلك من تفكيك مركبات معقدة إلى مواد أبسط تركيباً. ويجري هذه التحويلات في الخلية في درجات الحرارة العادية، أما بخارج الخلية فلا بد لإتمامها من درجات حرارة مرتفعة ومن إضافة مواد كيميائية لا توجد في الخلية النباتية من المعروف مثلاً أن النشا يتحلل بسروته إلى سكر جلوكوز داخل أنسجة النبات، أما في خارجها فلن يتغير التحلل بمثل سرعته في الخلايا النباتية بحسب إضافة حامض يرفع درجة حموضة الوسط التفاعل إلى درجة أعلى بكثير من درجة حموضة الخلية الحية كما يجب رفع درجة الحرارة إلى درجة لا يمكن أن تتحملها الخلية.

ولقد ثبت أن هناك مركبات عضوية معقدة تقوم بتنشيط هذه التحويلات الكيميائية داخل الخلايا الحية. وأطلق على هذه المركبات لفظ « الإنزيمات » (Enzymes)، وقد أمكن استخلاصها فأدت نفس الدور بخارج الخلايا النباتية عند درجات الحرارة العادية. والإنزيمات — كغيرها من العوامل المساعدة — تزيد من سرعة التفاعلات الكيميائية دون أن تستهلك فيها، إذ تحتفظ بطبيعتها وكميتها في نهاية التفاعل.

ويرجع تاريخ استكشاف الإنزيمات إلى عام ١٨٣٣، حين استخلصت من مخمر الشعير مادة تحلل النشا إلى سكر، أطلق عليها اسم « دياستاز » (Diastase). ثم توالى بعد ذلك فصل عدد كبير من الإنزيمات اصطلاحاً عند تسميتها على إضافة المقطع « يز » (ase) إلى نهاية اسم مادة التفاعل. فمثلاً الإنزيم الذي يحلل المولتوز إلى جلوكوز أطلق عليه اسم « المولتيز » وهكذا.

أما ما سبق استكشافه من الإنزيمات قبل اتباع هذه القاعدة فقد أطلقت عليها أسماء لا تسير وفق نظام خاص مثل البيسين والتربسين .

وتوجد الإنزيمات في كل الكائنات الحية ، أما منطلقة في السيتوبلازم ، أو مرتبطة بطريقة ما مع عضيات الخلية كالميتوكوندريات ، كما أنها توجد كذلك في العصير الخلوى .

طبيعة الإنزيم النقي : تتميز كل الإنزيمات التي أمكن استخلاصها بخواص بروتينية ، وعلى ذلك أمكن اعتبارها مركبات بروتينية ، وقد يتكون الإنزيم بأكليته من البروتين مثل إنزيم « الأميليز » (Amylase) الذي يحلل النشا ، إلا أن معظم الإنزيمات تتكون من جزئين وثيقى الارتباط أحدهما بروتينى والآخر غير بروتينى يطلق عليه اسم المجموعة الفعالة (Active or Prosthetic group) ومن أمثلة هذه الإنزيمات تلك التي تحتوى على فلز معين يكون بمثابة المنشط لفعالها ، إذ يعتقد أنه يساعد على ارتباط مادة التفاعل بالإنزيم . ومن الفلزات المعروفة بفعالها المنشط للإنزيمات : النحاس ، والحديد ، والمغنيسيوم ، والمنجنيز ، والزنك ، والكالسيوم ، والبوتاسيوم والكوبلت .

وفي كثير من الأحيان يكون ارتباط الجزء غير البروتينى للإنزيم بجزئه البروتينى غير وثيق . وفي هذه الحالة يطلق على الجزء غير البروتينى « المرافق الإنزيمى » (Co-enzyme) وعلى الجزء البروتينى « الإنزيم المجرد » (Apo-enzyme) . وقد أمكن بواسطة الفصل الغشائى فصل إنزيم معقد الزيميز إلى غروى يتلف عند درجة ٥٠°م اعتبر أنه الزيميز المجرد ، وجزء بللورى يتحمل درجة حرارة ١٠٠°م اعتبره هاردن وبنج (Hardan and Young) سنة ١٩٠٤ المرافق الزيميزى (Cozymase) أو المرافق الانزيمى-١- (Coenzyme I) ، وقد تبين أن هذا المرافق مركب عضوى يحتوى على الفوسفات . ومن الواضح أن فصل إنزيم معقد الزيميز إلى جزءيه يودى إلى وقف نشاطه تماما .

وقد اتضح فيما بعد أن المرافق الزيميزى يعمل مرافقاً لمجموعة من

الديهيدروجينيزات ولذلك سمي مرافق الديهيدروجينيز (Co-dehydrogenase) وبغزل هذا المرافق وتحليله تبين أن عبارة عن نيكوتيناميد أدينين ثنائي النيوكليوتيد $\text{NAD} = \text{dinucleotide}$ ويحتوي معقد الزيميز مرافقاً إنزيمياً آخر أطلق عليه المرافق الإنزيمي ١-٢ وهو يماثل المرافق الأنزيمي السابق إلا أن جزيئه يحتوي على ثلاث مجموعات فوسفات ويعرف باسم نيكوتيناميد أدينين ثنائي النيوكليوتيد الفوسفاتي ويرمز له بالرمز « ن ا ث فو » (Nicotinamide adenine dinucleotide, phosphate, NADP). وهناك مرافقات انزيمية أخرى مثل مرافق الكاربوكسيليز (Co-carboxylase) وهو عبارة عن بيروفوسفات الثيامين (فيتامين ب ١)، ومرافق الانزيم ١ (CoA)، والفلافين أحادي النيوكليوتيد (FMN) والفلافين أدينين ثنائي النيوكليوتيد (FAD). وتعمل هذه المرافقات الانزيمية كمانحة أو مستقبلية للذرات أو المجموعات الذرية التي تضاف إلى مادة التفاعل أو تنزع منها، ومعظمها له دور بالغ الأهمية في عمليات التأكسد والاختزال. وتركب معظم المرافقات من فيتامينات يتم بناؤها في النبات وليس في الخلايا الحيوانية.

وهناك مرافقات إنزيمية أخرى كثيرة منها أدينوسين ثنائي الفوسفات ويرمز له بالرمز « أدين ٢ فسو » (Adenosine diphosphate, ADP) وأدينوسين ثلاثي الفوسفات ويرمز له بالرمز « أدين ٣ فسو » (Adenosine triphosphate, ATP) ويعمل الأول كمستقبل لمجموعة من الفوسفات بينما يعمل الثاني كمانح لها.

والإنزيمات المستخلصة ذوات أوزان جزيئية عالية، فالوزن الجزيئي للإنزيم الكاتاليز مثلاً يبلغ ٢٤٨,٠٠٠، وقد أمكن تقدير هذه الأوزان بقياس معدل انتشار الإنزيمات ومقارنته بمعدل انتشار مادة معلومة الوزن الجزيئي. طبيعة عمل الإنزيم: من المعروف في كل التفاعلات الكيميائية أن المواد المتفاعلة لا بد أن تنشط قبل أن تدخل التفاعل، ويتطلب هذا التنشيط قدراً من الطاقة يطلق عليه اسم « طاقة التنشيط » وعمل الإنزيم - أو عمل أى عامل

مساعد آخر — هو إتمام التفاعل بأقل كمية ممكنة من الطاقة وحين تقل كمية طاقة التنشيط اللازمة للجزء ، فإن عدداً أكبر من الجزيئات ينشط ويدخل في التفاعل الذي تزداد بذلك سرعته . ويبين (الجدول ٢٣) الفرق بين طاقة التنشيط اللازمة في غياب الإنزيم وفي وجوده .

١ جدول (٢٣)

تأثير الإنزيمات على طاقة التنشيط

الإنزيم	طاقة التنشيط (بالسعر لكل جزىء)		التفاعل
	في وجود الإنزيم	في غياب الإنزيم	
الكاتاليز	٥٥٠٠	١٨٠٠٠	تفكك يد ٢١
سكريز الخميرة	١١٥٠٠	٢٦٠٠٠	تحلل السكروز
الترسين	١٢٠٠٠	٢٠٦٠٠	تحلل الكازين

وهناك رأيان بالنسبة لطبيعة عمل الإنزيم وتنشيطه للعمليات الكيميائية : أحدهما يعتبر أن الإنزيم — نظراً لطبيعته الغروية — يجذب المواد المتفاعلة إلى سطحه بخاصة التجمع السطحي ، وبذلك يصبح الاتصال بينها ميسوراً ومن ثم يسهل سير التفاعل ، أما الرأي الآخر فيعتبر أن الإنزيم يدخل مع مادة تفاعله في اتحاد كيميائي مكوناً مركباً مؤقتاً ، ينشط بكمية ضئيلة من الطاقة إذا ما قورنت بالطاقة اللازمة لتنشيط مادة التفاعل نفسها في غياب الإنزيم وبعد ذلك يتحلل هذا المركب المؤقت إلى نواتج التفاعل . وينطلق الإنزيم ليعيد نفس الدورة مع جزء جديد من مادة تفاعله . ويمكن تمثيل التفاعل الإنزيمي كما يلي :

الإنزيم + مادة التفاعل \rightleftharpoons مركب مؤقت \rightarrow نواتج التفاعل + الإنزيم

ويبدو أن الرأي الأخير أكثر رجاحة من سابقه ، إذ أمكن بوساطته شرح كثير من التفاعلات الإنزيمية . ففي بعض الأحيان — وخاصة عندما تكون جزيئات مادة التفاعل كبيرة — يتجمع عدد قليل منها على سطح جزىء

الإنزيم . وعلى ذلك لا يمكن أن يعزى فعل الإنزيم في تنشيط مادة التفاعل إلى خاصية التجمع السطحي .

تخصص الإنزيمات : تتميز الإنزيمات عن غيرها من العوامل المساعدة بالتخصص في عملها ، بمعنى أن كل إنزيم يساعد تفاعلاً خاصاً أو عدة تفاعلات كيميائية متشابهة ويطلق على النوع الأول تخصص مطلق (Absolute specificity) ، ومن أمثله إنزيم اليوريز (Urease) الذي يحلل اليوريا إلى نواتج وثنائي أكسيد الكربون ، وإنزيم الكاتالاز (Catalase) الذي يفكك فوق أكسيد الإيدروجين إلى ماء وأكسجين ، وكلا الإنزيمين لا يساعد أى تفاعل آخر ، غير أن هذا النوع من التخصص العالى قليل الوجود إذ أن من المؤلف أن يشمل تأثير الإنزيم مجموعة من المواد تحتوى على رابطة كيميائية معينة ، ويطلق على التخصص في هذه الحالة اسم « تخصص مجموعة » (Group specificity) .

وقد يتطلب الإنزيم أن تكون الرابطة — وكذلك أحد شقي جزئ مادة تفاعله — من النوع الذى يمكن أن يؤثر فيه ، فأنزيم الإنفرتيز (Invertase) يحلل السكروز (سكر القصب) إلى شقيه الجلوكوز والفركتوز ، ولكنه لا يحلل السكريات الثنائية الأخرى رغم أنها جميعاً تشترك مع السكروز في الرمز الجزيئى (ك١٢ يلد٢٢ ١١١) .

وقد لا يتطلب الإنزيم في مادة تفاعله غير توافر الرابطة التى يؤثر فيها ، فأنزيم الليباز (Lipase) مثلاً يحلل رابطة الإستر في الدهون والإسترات البسيطة ، بغض النظر عن طبيعة الحمض والكحول اللذين يكونان هذه الرابطة وهذا النوع من التخصص منخفض الدرجة وهو قليل الوجود .

مما سبق يتضح أن التخصص الإنزيمى يرجع إلى تركيب خاص في مادة التفاعل يطابق تركيب الإنزيم ، وقد شبهت تلك العلاقة بالتطابق بين القفل ومفتاحه ، وقد ترتب على هذا التخصص الإنزيمى وجود عدد كبير يقدر بعدة مئات في كل خلية ، وذلك للقيام بالتحويلات الكيميائية الكثيرة التى تحدث فيها .

الفعل العكسى للإنزيمات : الإنزيمات — ككل العوامل المساعدة — تساعد التفاعل العكسى كما تساعد التفاعل الطردى . وعلى الرغم من أن ذلك لم يثبت بالتجربة إلا بالنسبة لعدد قليل من الإنزيمات فليس هناك — ولو على الأقل من الوجهة النظرية — ما يدحض هذا الاعتقاد . أى أن الإنزيمات المحللة ليست عوامل تحليل فحسب بل إنها عوامل بناء أيضاً . فإنزيم الليباز (Lipase) — مثلاً — لا يساعد على تحليل الدهون الى أحماض دهنية وجليسرين فحسب ، بل يعمل أيضاً على بناء هذه المواد من نواتج تحليلها ، ويتوقف الاتجاه الذى يسير فيه التفاعل على مدى تركيز المواد المتفاعلة .

العوامل التى تؤثر فى النشاط الإنزيمى : يتأثر النشاط الإنزيمى كثيراً بالحرارة . فيزداد بارتفاعها ويتضاءل بانخفاضها وقد وجد أن سرعة التفاعل الإنزيمى تنضاعف عند كل ارتفاع فى درجة الحرارة مقداره 10°C ، وذلك فى مجال حرارى دون درجة حرارة 50°C . وتتلف كل الإنزيمات عند درجة حرارة 100°C . وفى درجات الحرارة المنخفضة تفقد الإنزيمات نشاطها ، غير أنها تستعيد هذا النشاط فى المجال الحرارى المعتدل . ولكل إنزيم درجة حرارة مثلى يبلغ نشاطه عندها أقصى مداه . وتختلف هذه الدرجة من إنزيم لآخر ، وتقع عادة بين درجتى حرارة 40°C و 50°C .

ويعتبر تركيز أيون الأيدروجين من العوامل الهامة التى تؤثر فى النشاط الإنزيمى ، ولكل إنزيم رقم إيدروجينى معين يبلغ عنده أقصى نشاطه ، فإنزيم الببسين مثلاً يلائمه رقم إيدروجينى منخفض (بين ١,٥ و ٢,٥) ، وإنزيم الليباز يناسبه وسط أقل حامضية (بين ٤ و ٥) ، أما إنزيم التربسين فيلائمه الوسط القاعدى (٧,٨) .

كذلك يتأثر النشاط الإنزيمى بدرجة تركيز الإنزيم ومادة تفاعله ، وإن كانت تلك العلاقة ليست بسيطة . ففى بدء التفاعل يتناسب معدل النشاط تناسباً طردياً مع تركيز الإنزيم ، وبعد أن تبدأ مادة التفاعل فى الاختفاء ينخفض المعدل لتناقص تركيز مادة التفاعل من جهة وتراكم نواتج تحليلها من جهة أخرى .

وبعض المواد يعطل وجودها النشاط الإنزيمي وقد يوقفه تماماً ، وتعرف هذه المواد بالمثبطات ، ومن أمثلتها أملاح الفلزات الثقيلة التي تثبط نشاط الكثير من الإنزيمات مثل الإنفرتين واليوريين ، وكذلك السيانور وأول أكسيد الكربون اللذان يوقفان نشاط إنزيمات التأكسدة المحتوية على الحديد والنحاس ، فعلى سبيل المثال يثبط السيانور — بتركيز ٠.٠٠٠٠٠٠٠٠ جزئياً — كثيراً من إنزيمات التنفس .

وبعض المثبطات تتشابه تركيبياً مع مادة التفاعل ، بحيث لا يستطيع الإنزيم أن يميز بينهما ، ولذلك فهي تتحد معه دون أن تتفاعل ، ويكون التثبط في هذه الحالة قابلاً للانعكاس أو المنافسة ، وذلك بزيادة تركيز مادة التفاعل ، ويعرف مثل هذا الطراز من التثبط باسم « الإعاقة التنافسية » (Competitive inhibition).

وفي بعض الأحيان يرتبط المثبط بالإنزيم في موقع آخر غير ذلك المخصص لمادة التفاعل ، ومن ثم يتغير هيكل الإنزيم بصورة تمنعه من فعلته ويكون التثبط في هذه الحالة غير قابل للانعكاس ، أي لا يمكن التغلب عليه أو منافسته ، ويعرف هذا الطراز من التثبط باسم « الإعاقة اللاتنافسية » (Non-competitive inhibition).

وعلى العكس يزداد نشاط بعض الإنزيمات عند إضافة مواد معينة — نعرف بالمنشطات — إلى وسط تفاعلها . فمثلاً ينشط حمض الإيدروسيانيك وكبريتيد الإيدروجين بعض الإنزيمات المحللة للبروتين .

تقسيم الإنزيمات : لما كان التركيب الكيميائي للإنزيمات غير معلوم على وجه التحديد فقد أصبح من العسير تقسيمها على أساس تركيبها ، ولذلك فقد بنى تقسيمها على حسب طبيعة التفاعلات التي تساعدها . وقد اقترح الاتحاد الدولي للكيمياء الحيوية (عام ١٩٦١) تقسيم الإنزيمات إلى المجموعات الست الرئيسية الآتية :

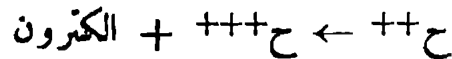
- ١ - إنزيمات التأكسد والاختزال (Oxidoreductases) .
- ٢ - إنزيمات ناقلة (Transferases)
- ٣ - إنزيمات التميؤ أو « التحليل المائي » (Hydrolases) .
- ٤ - إنزيمات الإضافة (Lyases)
- ٥ - إنزيمات التشابه (Isomerases)
- ٦ - إنزيمات البناء (Ligases, or Synthetases)

إنزيمات التأكسد والاختزال

(Oxidoreductases)

يتم في الخلايا الحية عدد من عمليات التأكسد والاختزال ينتج عنها انطلاق طاقة . وتعد عمليات التأكسد والاختزال من العمليات المتضادة والمتلازمة ، إذ أن من المعروف أن أكسدة مادة ما يصاحبها في نفس الوقت اختزال مادة أخرى ، ففي عمليات التنفس العادية تتأكسد الدهون والكربوهيدرات والبروتينات ويختزل الأكسجين الجوى .

ويتم تأكسد المادة إما بإضافة الأكسجين إليها كتأكسد أول أكسيد الكربون إلى ثاني أكسيد الكربون ، وإما بنزع الهيدروجين منها كتأكسد كبريتيد الهيدروجين إلى عنصر الكبريت ، وإما بفقدائها إلكترونات أو أكثر كما يحدث عند تأكسد الحديدوز إلى حديدك .



وتأكسد المواد العضوية في أثناء العمليات الحيوية - كالتنفس - يتم غالباً بنزع الهيدروجين ، وهناك رأيان لتفسير هذه الأكسدة الفسيولوجية ، ينطوى أحدهما على تنشيط الأكسجين الجزيئى الذى ينتقل إليه إيدروجين مادة التفاعل ، وينطوى الآخر على تنشيط إيدروجين مادة التفاعل ثم انتزاعه منها حيث تستقبله مادة أخرى . وقد وجدت في الخلايا الحية إنزيمات مؤكسدة ، بعضها ينشط الأكسجين ويطلق عليها اسم « الأكسيديزات » (Oxidases)

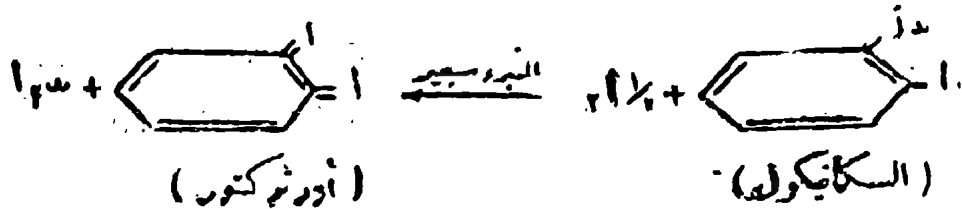
بعضها الآخر ينشط الإيدروجين ويطلق عليها اسم « الديهيدروجينيزات » (Dehydrogenases).

وتوجد بالإضافة إلى هاتين المجموعتين إنزيمات مؤكسدة أخرى واسعة الانتشار في خلايا النبات هي البيروكسيديزات (Peroxidases) ، التي تقوم بمليات الأكسدة في وجود فوق أكسيد الإيدروجين أو أى فوق أكسيد آخر ، والكاتاليز (Catalase) الذى يفكك فوق أكسيد الإيدروجين إلى الماء الأكسيجين .

وعلى ذلك فيمكن تقسيم الإنزيمات المؤكسدة في النباتات إلى الأكسيديزات البيروكسيديزات والكاتاليز والديهيدروجينيزات .

الأكسيديزات : هي مجموعة الإنزيمات التي تساعد على أكسدة كثير من لواد المختزلة ، وذلك بتنشيطها لأكسيجين الهواء الجوى بحيث تجعله قابلاً لاتحاد بإيدروجين مادة التفاعل ، وفي هذه الحالة يختزل الأكسيجين إلى فوق كسيد الإيدروجين أو الماء ، وأهم هذه الإنزيمات هي : أكسيديزات نينول - أكسيديز الكاتيكول وأكسيديز عديد الفينول والتيروسينيز (Catechol oxidase, Polyphenol oxidase & Tyrosinase) - وأكسيديز سيتوكروم (Cytochrome oxidase) .

أكسيديزات الفينول : وسنعالجها هنا كمجموعة واحدة ، وهي توجد في سجة كثير من النباتات ، وتساعد على تأكسد عدد كبير من المواد الفينولية بالجواياكم (Guaiacum) والكاتيكول (Catechol) والبيروجالول (Pyrogallo) والتيروسين ، وفي كل حالة يتسكون الأورثوكينون (Orthoquinon) المقابل ، والتفاعل التالى يمثل تأثير التيروسينيز على كاتيكول :

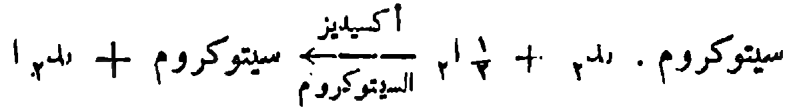


وتتجمع نواتج الأكسدة عادة مكونة مركبات داكنة اللون ، حمراء أو بنية أو سوداء ، يعزى إليها تغير لون البطاطس والتفاح وغيرهما من الأنسجة النباتية عند تعرضها للجو .

وإذا وضعت نقطة من المحلول الكحولى لصمغ الجواياكم على نسيج نباتى معرض للجو — ويحتوى هذا الإنزيم — ظهر اللون الأزرق الناتج من تأكسد الجواياكم مباشرة .

وقد أمكن استخلاص أكسيديزات الفينول من درنات البطاطس وبعض أنواع فطيرة عيش الغراب وغيرهما من الأنسجة النباتية والحيوانية ، وتبين أنها مركبات بروتينية تحتوى على نسبة من النحاس لا تقل عن ٠,٣ ٪ ، ويبطل عملها في وجود مركبات السيانيد وأول أكسيد الكربون .

أكسيديز السيتوكروم : يعد أوسع الأكسيديزات انتشاراً ، إذ يوجد في أنسجة عدد من النباتات وكثير من الحيوانات ، ويختص بأكسدة السيتوكروم المختزل في وجود الأكسيجين الجوى ، حيث يتحد الأكسيجين مع أيونات الإيدروجين في السيتوكروم المختزل مكوناً الماء ، وينطلق السيتوكروم في حالته المؤكسدة كما يتضح من المعادلة الآتية :



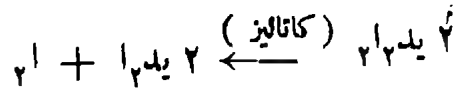
والسيتوكروم المشار إليه هو أحد أفراد مجموعة المواد التى تحتوى على الحديد ، وتوجد على نطاق واسع في خلايا النبات والحيوان ، وقد أمكن استخلاص عدد من مركبات السيتوكروم تقوم بدور كبير في عمليات التأكسد والاختزال ، فهى تنقل الإيدروجين من بعض المركبات إلى الأكسيجين الجوى في وجود أكسيديز السيتوكروم .

وأكسيديز السيتوكروم يحتوى على الحديد في مراكزه الفعالة ، ولذلك يبطل نشاطه في وجود مركبات السيانيد والكبريتيد والأزاييد وكذلك أول أكسيد الكربون ، وإن كان تأثير الأخير يزول في الضوء الأزرق ، وهو في هذا يختلف عن أكسيديزات الفينول .

البيروكسيديز : يعمل هذا الانزيم على أكسدة عدد من المواد الفينولية في وجود فوق أكسيد الإيدروجين وربما أى فوق أكسيد آخر . والمعتقد أنه يساعد على تفكك فوق أكسيد الإيدروجين إلى الماء والأكسيجين النشط الذى يستطيع أن يؤكسد المواد الفينولية مثل الجواياكم والكاتيكول . وعند إضافة محلول الجواياكم إلى مستخلص البيروكسيديز لا يحدث أى تغير فى اللون ، فإذا ما أضيف إلى المخلوط فوق أكسيد الإيدروجين ظهر اللون الأزرق الدال على تأكسد الجواياكم .

والبيروكسيديز شائع الوجود فى كل خلايا النبات تقريباً ، وتحتوى جذور الفجل ويتوع أشجار التين تركيزات عالية منه ، وقد حضر فى حالة نقية من جذور نبات « فجل الحصان » (Horse-radish) ، واتضح أنه يحتوى على الحديد فى مراكزه الفعالة ، ولذلك يبطل نشاطه فى وجود مركبات السيانييد والكبريتيد .

الكاتاليز : هذا الإنزيم كالبيروكسيديز شائع الوجود فى أنسجة الكائنات الحية ، ويقتصر فعله على تفكيك فوق أكسيد الإيدروجين — الزائد عن استهلاك البيروكسيديز — إلى الماء والأكسيجين الجزيئى .



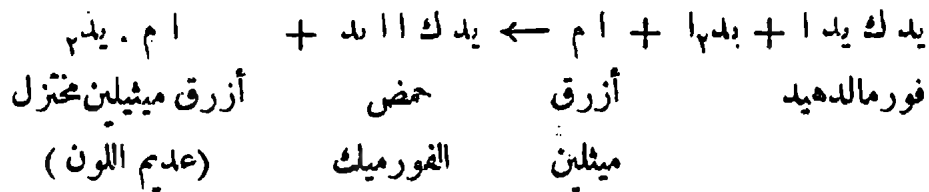
والدور الذى يقوم به الكاتاليز فى النبات غير واضح ، وإن كان المعتقد أنه يحول دون تراكم فوق أكسيد الإيدروجين الناتج عن عمليات التنفس فى الأنسجة إلى القدر الذى يسبب تسمم الخلايا وموتها . والكاتاليز مركب بروتينى يحتوى على الحديد ويبطل نشاطه فى وجود مركبات الكبريتيد والسيانيد والأزابد .

الدهيدروجينيزات : هى مجموعة الإنزيمات التى تساعد عمليات التأكسد والاختزال بتنشيط إيدروجين مركب ونقله إلى مركب آخر ، وتستطيع بعض الدهيدروجينيزات نقل إيدروجين مادة التأكسد إلى الأكسيجين مباشرة ،

وهي تشبه في ذلك الأكسيدات ، ويطلق عليها « ديهيدروجينيزات هوائية » غير أن معظم ديهيدروجينيزات النبات لاهوائية ، أى أنها تنقل إيدروجين مادة التفاعل إلى مركبات أخرى غير الأكسجين . والفرق بين الأكسيدات والديهيدروجينيزات الهوائية هو أن الأخيرة تنقل إيدروجين المادة المؤكسدة إلى الأكسجين أو غيره من المواد أما الأكسيدات فلا تعمل إلا في وجود الأكسجين .

ويلزم لكى تؤدى الديهيدروجينيزات عملها أن توجد في وسط تفاعلها مادتان ، إحداهما تتأكسد بنزع إيدروجينها والأخرى تختزل في نفس الوقت بامتقبالها لهذا الإيدروجين ، وقد أطلق على الأولى مانحة الإيدروجين (Hydrogen donor) وعلى الثانية مستقبلة الإيدروجين (Hydrogen acceptor).

ومن الديهيدروجينيزات المعروفة إنزيم شاردنجر (Schardinger enzyme) الموجود في اللبن ، ويساعد هذا الإنزيم على تأكسد الفورمالدهيد إلى حمض الفورميك في وجود أزرق الميثيلين ، الذى يختزل بدوره ويتحول إلى أزرق الميثيلين عديم اللون كما يلى :

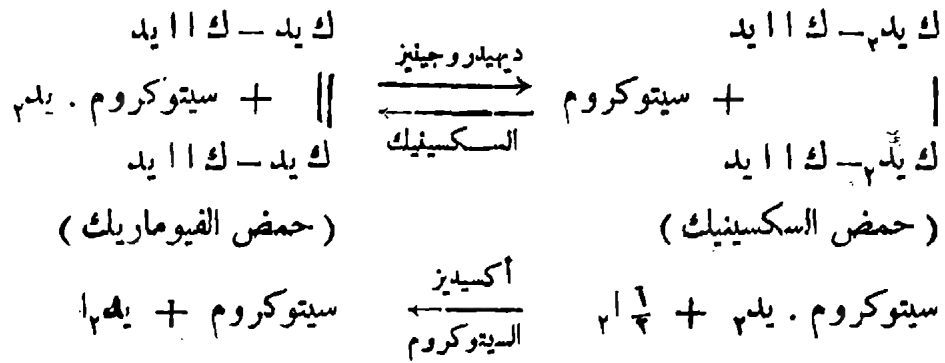


ومانح الإيدروجين في هذا التفاعل هو مركب يتكون أولا من اتحاد جزيء من الماء مع جزيء من الألدهيد ، ويسمى إيدرات الفورمالدهيد ، ويجب لكى يتضح هذا التفاعل في المعمل أن يتم في ظروف لاهوائية ، إذ أن أزرق الميثيلين المختزل يتأكسد مباشرة بأكسجين الهواء الجوى :

وقد عرف في الأنسجة النباتية عدد من الديهيدروجينيزات تقوم بأكسدة الكحول الإيثيلي والجلوكوز وبعض الأحماض العضوية ، كأحماض المالك والستريك والأوكساليك والسكسينيك والجلوتاميك ، وجميعها ديهيدروجينيزات لاهوائية ويسمى الإنزيم عادة باسم المادة المانحة للإيدروجين ، فيطلق مثلا

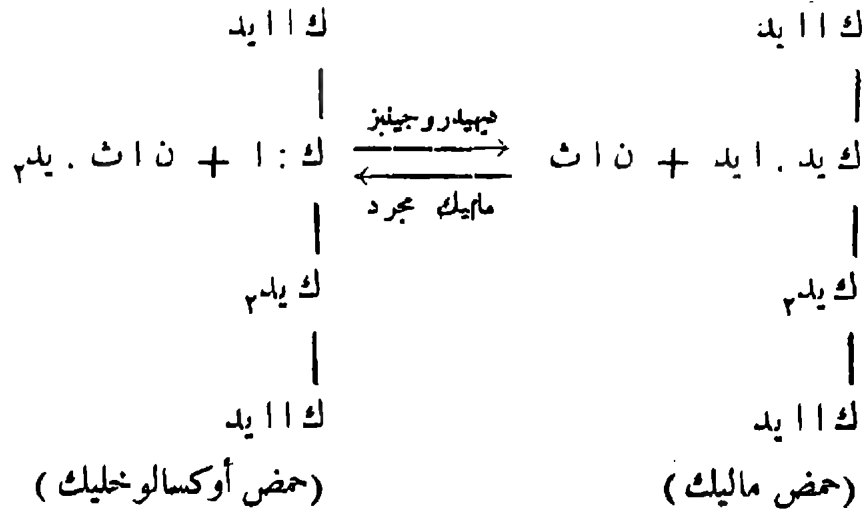
على الإنزيم الذى ينزع الإيدروجين من الكحول الإيثيلي ويحوّله إلى أسيتالدهيد اسم « ديهيدروجينيز الكحول » وهكذا .

وأزرق الميثيلين الذى يستقبل الإيدروجين فى التفاعل السابق لاوجود له فى الخلايا الحية ، ولذلك تقوم بدوره مواد أخرى من أهمها مركب السيتوكروم الذى سبقت الإشارة إليه . ففى تفاعلات بعض الديهيدروجينيزات — كديهيدروجينيز السكسينيك (Succinic dehydrogenase) — يعمل السيتوكروم كمستقبل للإيدروجين ويتحول إلى السيتوكروم المختزل ، ثم يتأكسد الأخير ويعود إلى حالته الأصلية فى وجود أكسيدز السيتوكروم ، وتوضح الخطوات الآتية التفاعل :



ويمكن أن يحل أزرق الميثيلين محل السيتوكروم كمستقبل للإيدروجين . ويرتبط الكثير من الديهيدروجينيزات فى عملها بمركبات أخرى غير السيتوكروم ، أهمها « نيكوتينامايد أدينين ثنائى النيوكليوتيد » (Nicotinamide adenine dinucleotide) و « نيكوتينامايد أدينين ثنائى النيوكليوتيد الفوسفاتى » (Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate) ويعمل الأول مرافقاً إنزيمياً لكل من ديهيدروجينيز الكحول وديهيدروجينيز الماليك ، ويعمل الثانى مع ديهيدروجينيز الأيسوسترىك (Isocitric dehydrogenase) ، أما ديهيدروجينيز الجلوتاميك فيؤدى عمله فى وجود أى من المرافقين . وحلقة البيريدين هى المجموعة الفعالة فى كل من المرافقين الإنزيمين ، وهى تتأكسد أو تختزل بفقد أو اكتساب ذرتين من الإيدروجين على التوالى .

ويوضح التفاعل الآتي تأكسد حمض المالك إلى حمض الأوكسالوخليلك وهو من عمليات الأكسدة الهامة في المرحلة الهوائية للتنفس كما سيأتي بعد :



وهناك مجموعة ثالثة من الديهيدروجينيزات تنقل الإيدروجين إلى الرايبوفلافين (Riboflavin) الذي يكون جزءاً من مراكزها الفعالة . وبطلق على هذه المجموعة « الفلافوبروتينات » (Flavoproteins) ومن أمثلتها إنزيم شاردينجر الذي سبقت الإشارة إليه . وتختص بعض إنزيمات هذه المجموعة بأكسدة المرافقات الإنزيمية المختزلة بواسطة القسم الثاني من الديهيدروجينيزات وذلك كما يلي :

مرافق إنزيمي . يد + فلافوبروتين \rightleftharpoons مرافق إنزيمي + فلافوبروتين مختزل
 وتتأكسد بعض ديهيدروجينيزات هذه المجموعة بالأكسجين مباشرة ، ولذلك يطلق عليها اسم الديهيدروجينيزات الهوائية ، أما بعضها الآخر فيتأكسد بالسيتوكروم كما يلي :

فلافوبروتين مختزل + سيتوكروم \rightleftharpoons فلافوبروتين + سيتوكروم . يد

ويتأثر نشاط الديهيدروجينيزات كلياً أو جزئياً بفعل عدد من المشتطات العضوية ، نذكر منها حمض المالونيك (Malonic acid) الذي يوقف نشاط ديهيدروجينيزات السكسينيك ، والأيدودوخلات (Iodoacetate) التي

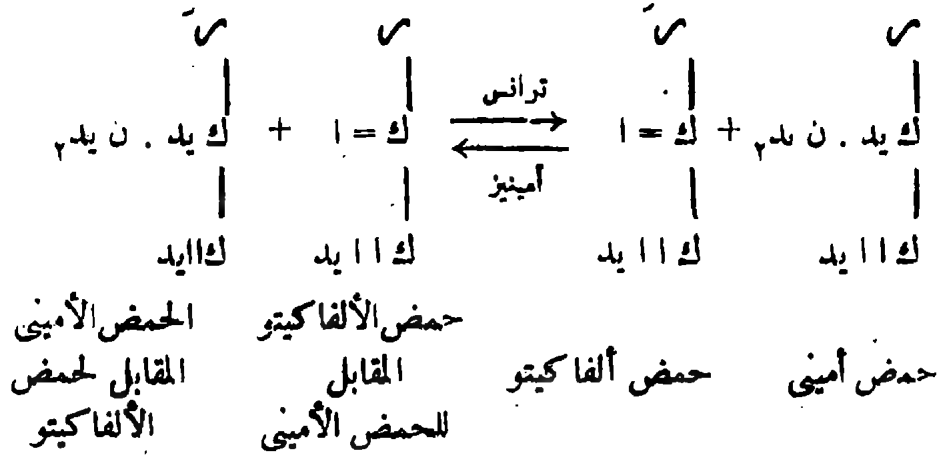
تبطّل فعل ديهيدروجينيز الكحول. وبعض المثبطات — كاليوريثين (Urethane) — لها تأثير مثبط على نشاط كل الديهيدروجينيزات تقريباً .

الإنزيمات الناقلة

(Transferases)

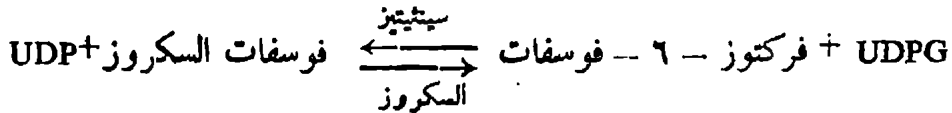
وتضم هذه المجموعة الإنزيمات التي تساعد نقل مجموعة أو شق من جزيء مادة عضوية إلى جزيء مادة أخرى . ويتضمن ذلك نقل أزواج من ذرات الإيدروجين ، ومجموعات الأمين والأسيتيل والميثيل (الخلات) وشق الفوسفات والجليكوسيل ، ومن أمثلة هذه المجموعة الإنزيمات التالية :

(أ) إنزيمات تساعد نقل مجموعة الأمين (ن يد) من حمض أميني إلى حمض ألفا كيتو وينتج الحمض الأميني المقابل لحمض ألفا كيتو والحمض ألفا كيتو المقابل للحمض الأميني ، وتعرف هذه المجموعة بالترانس أمينيزات (Transaminases) ، ومن أمثلتها ترانس أمينيز الجلوتاميك (Glutamic tranaminase) ، ويمكن تمثيل تفاعلات هذه المجموعة بالمعادلة العامة الآتية :



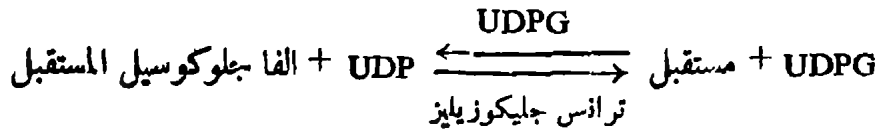
(ب) إنزيمات تساعد على نقل شق الفوسفات من مركب إلى مركب آخر ونعرف بالفوسفوكينيزات (Phosphokinases) ، ويرتبط نشاط هذه الإنزيمات بالمرافقات الإنزيمية أدينوسين ثنائي الفوسفات (أدين - ٢ - فو) وأدينوسين ثلاثي الفوسفات (أدين - ٣ - فو) . ويمثل التفاعل التالي عينة من نشاط هذه المجموعة :

جلوكوز + أدين-٣ - فو $\xrightleftharpoons{\text{مكسوكينيز}}$ جلوكوز-٦ - فوسفات + أدين-٢ - فو
ج - إنزيمات تساعد نقل شق الجليكوسيل (Glycosyl radical) من مركب
إلى مركب آخر ، وعادة ما تكون المادة الرئيسية هي يوريدين ثنائي
الفوسفات الجلوكوزى (UDPG) ، ومن أمثلة هذه الإنزيمات سينثيتيز
السكرور (Sucrose synthetase) الذى يساعد التفاعل التالى :



ويتحلل فوسفات السكرور مائيا بواسطة إنزيم الفوسفاتيز ليعطى السكرور
والفوسفات غير العضوية .

ومن أمثلتها أيضا ترانس جليكوزيليز يوريدين ثنائي الفوسفات
الجلوكوزى (UDPG transglycosylase) الذى يساعد التفاعل التالى :



ويتكون هذا المستقبل من جزئ بادئ يحتوى على عدد من وحدات
الجلوكوز مرتبطة بروابط الفا ١-٤ .

إنزيمات التميؤ أو التحليل المائى

(Hydrolases)

تنقسم هذه المجموعة إلى إنزيمات تؤثر على المواد الكربوهيدراتية ، ويطلق
عليها الكربوهيدريزات (Carbohydrases) ، وإنزيمات تساعد التحليل المائى
للمواد المحتوية على رابطة الإستر كالدهن والإسترات البسيطة وتعرف
بالإستريزات (Esterases) ، وإنزيمات تعمل على تحليل المواد التى تحتوى
على رابطة الببتيد (Peptide-linkage) « ك - ن يد » وتعرف بالإنزيمات
البروتيو ليتية (Proteolytic enzymes) ، وأخيراً إنزيمات تساعد التحليل المائى
للمواد التى تحتوى على الرابطة (ك - ن) كالأميدات والأحماض الأمينية .
وينطلق من معظم تفاعلات هذه الإنزيمات - التى يطلق عليها دى أمينيزات
ودى أميديزات (Deaminases and deamidases) - النشادر .

جدول رقم (۲۴)

بعض إنزيمات التحليل المائي في النبات

القسم	الإنزيم	مادة التفاعل	نواتج التفاعل
(١) السكرات	أولاً:		
	إنزيمات عديدة السكر		
	الأميليز (١)	النشا (ك١ يد ١٠ هـ)	دكستريانات + مولتوز
	السلوليز	السليلوز	سلوبيوز
	الإنوليز	الإنولين	فركتوز
	السيثيليز	الهيميسيليلوز	جلوكوز + سكرات أخرى
	البكتينيز	المواد البكتية	جالاكتوز + حمض
	ثانياً:		اليورنيك
	الجليكوسيديزات		
	(٢) السكرات	المولتينز	المولتوز (ك١ يد ١٢ هـ)
السكريز (الإنفرتيز)		السكروز (ك١ يد ١٢ هـ)	فركتوز + جلوكوز
اللاكتيز		اللاكتوز (ك١ يد ١٢ هـ)	جالاكتوز + جلوكوز
السلوبيليز		السلوبيوز (ك١ يد ١٢ هـ)	جلوكوز (بيتا)
الإيمالسين		بيتا جليكوسيدات	جلوكوز + مواد غير
		(كالأميجدالين)	سكرية

(١) يوجد في النباتات نوعان من الأميليز هما ألفا أميليز وبيتا أميليز ،
والأول يحلل النشا الى دكسرينات أما الثاني فيحللها الى المولتوز
والدكستريانات . وقد تستعمل كلمة « الدياستيز » بدلا من الأميليز ، إلا
أنها في الحقيقة تدل على خليط من الانزيمات هي الأميليز والدكسترينيز
والمولتيز ، وهي في مجموعها تحلل النشا الى جلوكوز . والأميليز المستخلص
من فطره الاسبرجيلس والمعروف باسم « تاكادياستيز » (Taka diastase)
يحتوى على هذه المجموعة من الانزيمات .

بعض إنزيمات التحليل المائي في النبات (تابع) (تكملة ملحق رقم ١٠٠)

القسم	الإنزيم	مادة التفاعل	نواتج التفاعل
(١) الإستريزات	الليبيراز الكلوروفيليز البكتيز الفوسفاتيز	الدهون الكلوروفيل البكتين فوسفات الهكسوز	أحماض دهنية + جلسرين الكلوروفيليد + الفيتول حامض البكتيك + كحول ميثيلي الهكسوز + الفوسفات
(٢) الإنزيمات البروتينية	أولاً : البروتيازات : الببسين التريبسين البابسين البروميلين ثانياً : الببتيدازات : عديدة الببتيدازات ثنائية الببتيدازات	البروتينات البروتينات البروتينات البروتينات البروتينات عديدات الببتيدات ثنائيات الببتيدات	بيتونات عديدات الببتيدات + أحماض أمينية عديدات الببتيدات + أحماض أمينية عديدات الببتيدات + أحماض أمينية ثنائيات الببتيدات + أحماض أمينية

بعض إنزيمات التحليل المائي في النبات (تابع)

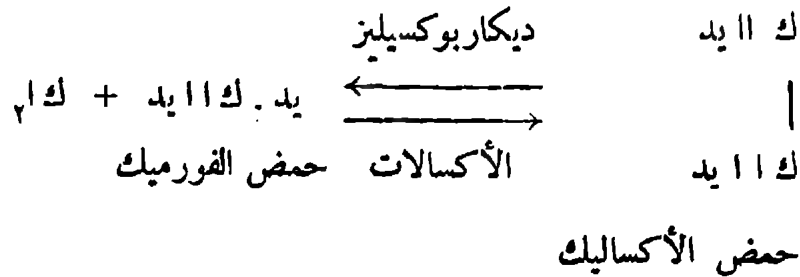
القسم	الإنزيم	مادة التفاعل	نواتج التفاعل
(د) الذى أميديزات والذى أمينيزات	اليوريز	اليوريا	النشادر + ثاني أكسيد الكربون
	الأسباراجينيز	الأسباراجين	النشادر + حمض الأسبارتيك
	الجلوتامينيز	الجلوتامين	النشادر + حمض الجلوتاميك
	أرجينيز	أرجينين	أورنثين + يوريا

إنزيمات الإضافة

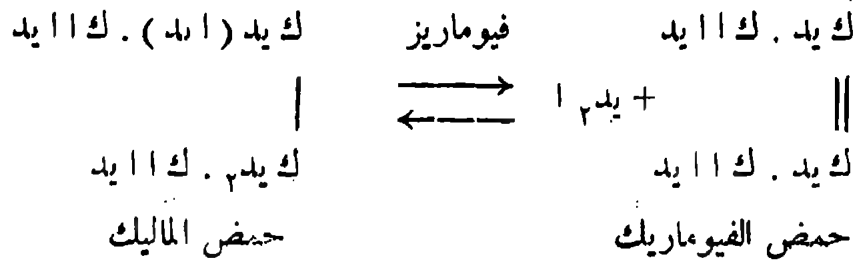
(Lyases)

وتشمل الإنزيمات التى تساعد الانشطار المباشر للروابط دون تدخل متفاعلات أخرى ، وقد أطلق عليها إنزيمات الإضافة لأنها تساعد الفعل العكس كما تساعد الفعل الطردى .

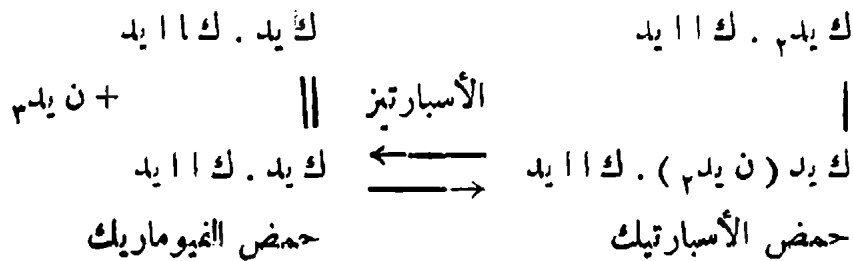
ومن هذه الإنزيمات ما يساعد على تكسير الرابطة (ك - ك) كتلك التى تنزع ثاني أكسيد الكربون من مادة التفاعل أو تضيفه إليها ، ومن أمثلتها إنزيم ديكاربوكسيلز الأكسالات (Oxalate decarboxylase) الذى يساعد التفاعل التالى :



ومنها ما يساعد على تكسير الرابطة (ك - ا) كتلك التي تنزع الماء من مادة التفاعل أو تضيفه إليها ، ومن أمثلتها إنزيم الفيوماريز (Fumarase) الذي يساعد التفاعل التالي :



ومنها أيضاً ما يساعد على تكسير الرابطة (ك ن) مع انطلاق النشادر ، ومن أمثلتها إنزيم الأسبارتيز (Aspartase) الذي يساعد التفاعل التالي :



ومن إنزيمات الإضافة إنزيم الألدوليز (Aldolase) الواسع الانتشار ، والذي يساعد على شطر جزيء « فركتوز - ١ ، ٦ - ثنائي الفوسفات » إلى جزيئين من فوسفات السكر الثلاثي .

إنزيمات التشابه

(Isomerases)

وهي إنزيمات خاصة بإحداث تغييرات داخلية في جزيء المادة ، ومن أمثلتها إنزيم هكسوز فوسفات أيسومريز (Hexose phosphate isomerase) الذي يحول جزيء جلوكوز - ٦ - فوسفات إلى فركتوز - ٦ - فوسفات . ومن أمثلة هذه الإنزيمات أيضاً إنزيم « تريوز فوسفات أيسومريز » (Triose phosphate isomerase) الذي يساعد تحول فوسفات الأسيبتون ثنائية الإيدروكسيد إلى الدهيد فوسفو الجليسريك .

وهناك إنزيمات تنقل مجموعة من مكان في الجزيء إلى مكان آخر في نفس الجزيء مثل إنزيم فوسفوجلوكوميوتيز (Phosphoglucomutase) الذي يساعد تحول جلوكوز - ١ - فوسفات إلى جلوكوز - ٦ - فوسفات .

إنزيمات البناء

(Ligases or Synthetases)

وتتضمن هذه المجموعة إنزيمات تساعد بناء الروابط (ك - ١ ، ك - ك ب ، ك - ن ، ك - ك) ، ويكون ذلك بربط جزيئين ببعضهما البعض على حساب أدينوسين ثلاثي الفوسفات .

ومن أمثلة هذه الإنزيمات الإنزيم المكون لأسيثيل المرافق الإنزيمي ١ (Acetyl Co A) كما يلي :

أدينوسين ثلاثي الفوسفات + خللات + المرافق الإنزيمي ١ (Co A)

(Acetyl Co A $\downarrow\uparrow$ Synthetase)

أدينوسين أحادي الفوسفات + بيروفوسفات + أسيثيل المرافق الإنزيمي ١ (Acetyl Co A)

ومن أمثلتها أيضاً إنزيم كربوكسيليز البيروفيك (Pyruvic carboxylase) الذي يساعد التفاعل التالي :

أدينوسين ثلاثي الفوسفات + حمض بيروفيك + ك_١ + ك_٢ + ك_٣

كربوكسيليز $\downarrow\uparrow$ البيروفيك

أدينوسين ثنائي الفوسفات + أرثوفوسفات + أكسالو الخلات

الباب الرابع والثلاثون

التنفس

تتميز كل الكائنات الحية بقدرتها على إطلاق الطاقة بصفة مستمرة ، ويتم ذلك عادة بتفكيك المواد المعقدة التي توجد داخل خلاياها الحية إلى مواد أبسط تركيباً منها . ويصاحب هذه العملية عادة امتصاص الأكسجين وانطلاق ثاني أكسيد الكربون . وقد استعملت كلمة التنفس (Respiration) أولاً للتعبير عن هذا التبادل الغازي في النبات والحيوان على السواء ، غير أن انطلاق الطاقة — وهو أهم مظاهر هذه العملية — ينتج في بعض الأحيان من تفاعلات لا تشمل على ذلك التبادل الغازي ، فبعضها لا ينتج منه ثاني أكسيد الكربون ، وبعضها لا يستهلك الأكسجين ، لذلك لم يعد استعمال كلمة التنفس مقصوراً على تبادل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون بين النبات والجو المحيط به فحسب ، بل أصبح شاملاً لمجموعة العمليات — من أى نوع كانت — التي تؤدي إلى انطلاق الطاقة .

والنوع الشائع من التنفس يتم فيه انطلاق الطاقة بأكسدة مواد عضوية — مثل المواد الكربوهيدراتية والدهنية والبروتينية — ويتطلب ذلك استعمال الأكسجين الجوي ، ومن ثم يعرف هذا التنفس « بالتنفس الهوائي أو الأكسيجيني » (Aerobic or oxygen respiration) ، وهو من الشبوع بحيث يمكن اعتباره الوسيلة العادية لتنفس النباتات . وهذا النوع من التنفس — وإن اختلف في تفاصيله من نبات إلى نبات على حسب نوع المادة المستهلكة — فإنه ينطوي عادة على امتصاص الأكسجين وخروج ثاني أكسيد الكربون .

وقد تنطلق الطاقة من عمليات أخرى غير النوع السابق ، ومن أهمها تلك

الى تتفكك فيها المادة الكربوهيدراتية إلى كحول وثاني أكسيد كربون دون استخدام الأكسجين الجوى، وتعرف هذه العملية « بالتنفس اللاهوائى أو اللا أكسيجينى » (Anaerobic or Non-oxygen respiration) وهو مماثل التخمر الكحولى الذى تقوم به فطيرة الخميرة . وكل النباتات التى تنفس هوائياً فى الظروف العادية تستطيع أن تنفس لا هوائياً - ولو لمدة محدودة - إذا حُرمت من الأكسجين وفى بعض الأحيان يكون التنفس اللاهوائى هو الوسيلة العادية للحصول على الطاقة ، كما هو الحال فى بعض أنواع البكتيريا ، ونخاصه تلك التى لا تعيش إلا فى غياب الأكسجين .

وهناك أنواع أخرى من البكتيريا تقوم بعمليات أكسدة من نوع خاص تؤدي على ما يبدو وظيفة تنفسية ، إذ تنطلق فى أثناءها الطاقة ، وتشمل هذه العمليات على أكسدة مواد غير عضوية ، ومن أمثلة هذه البكتيريا بكتيريا النترية (النيتروسموناس والنيتروباكتريا) التى تؤكسد النشادر إلى النيتريت ثم النترات ، وبكتيريا الكبريت التى تؤكسد كبريتيد الإيدروجين إلى الكبريت ثم الكبريتات ، وبكتيريا الحديد التى تؤكسد الحديدوز (ح++) إلى الحديديك (ح+++) ، ثم بكتيريا الإيدروجين التى تؤكسد الإيدروجين إلى ماء ، والطاقة المنطلقة من هذه التفاعلات تستغلها الخلايا البكتيرية فى بناء المواد الكربوهيدراتية من ثاني أكسيد الكربون والماء ، وهى العملية التى يطلق عليها اسم البناء الكيميائى (Chemosynthesis) وسأتى ذكرها تفصيلاً فى الباب التالى .

أصبح من الميسور بعد هذه المقدمة تبين المعنى العام لعملية التنفس . فبغض النظر عن الصورة التى تتخذها ، تعتبر ظاهرة انطلاق الطاقة أهم خصائصها ، أما نوع التبادل الغازى فلم يعد فى المرتبة الأولى من الاعتبار . وسنتناول فيما يلى دراسة تفصيلية لنوعى التنفس الهوائى واللاهوائى ، أما النوع الخاص بالبكتيريا فسأتى شرحه فى أثناء الحديث عن البناء الكيميائى فى الباب التالى .

$$٦ \text{ كس } + ١٢ \text{ كس } + ٦ \text{ كس } \leftarrow ٦ \text{ كس } + ٦ \text{ كس } + ٦ \text{ كس } + ٦ \text{ كس } = ٦٧.٤ \text{ كجم سعر}$$

وعملية التنفس (٥) ليست بالبساطة التي تدل عليها المعادلة العامة السابقة ، بل إنها في الحقيقة تم في خطوات كثيرة معقدة ، تتكون فيها نواتج وسطية هامة سيأتى ذكرها في هذا الباب ، وتقوم هذه الخطوات مجموعة من الإنزيمات بكونها بروتوبلازم الخلايا الحية حيث يحدث التنفس . وعلى ذلك فليس من الصواب تعريف التنفس على أنه عملية احتراق ، وإن اشتركت العمليتان في تماثل مواد التفاعل ونواتجه وفي كمية الطاقة المنطلقة .

والهكسوزات - أو السكريات السداسية - هي المواد التي تتأكسد عادة في خلايا النباتات الراقية . وعندما تحتوي الخلايا الحية على مادة كربوهيدراتية وأخرى دهنية ، فإن الأولى غالباً ماتستهلك تماماً في التنفس قبل أن يبدأ استعمال الثانية . وعندما يستخدم الدهن كمادة تنفس - كما يحدث عادة عند إنبات البذور الزيتية - فإنه يتحلل أولاً إلى جليسرين وأحماض دهنية قبل أن يتأكسد إلى ثاني أكسيد الكربون والماء . وليس من المألوف أن يستهلك البروتين في تنفس الخلايا النباتية إلا إذا نفذ كل ما بها من المواد

(*) إذا ذكر لفظ « التنفس » فقط كان المقصود به التنفس الهوائى .

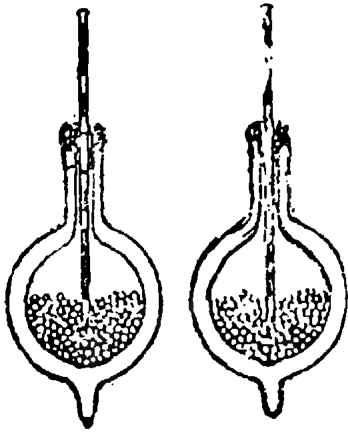
الكربوهيدراتية والدهنية ، وحينئذ تتحلل البروتينات إلى الأحماض الأمينية .
التي تتأكسد ويصحب تأكسدها عادة تراكم الأسبراجين وغيره من الأميدات .
وقد يتبع ذلك تأكسد الأميدات نفسها وانطلاق النشادر نتيجة لذلك في
أنسجة النبات ، وهذا ما يشاهد عند التجويع الشديد للأوراق بتركها في
الظلام مدة طويلة .

استنفاد الطاقة المنطلقة من التنفس :

إن الطاقة المنطلقة من عملية التنفس - والتي تعتبر أهم خصائصها -
ضرورية لقيام الكائن الحي بشتى عملياته الحيوية - ولا يستفيد النبات من كل
الطاقة المنطلقة ، إذ أن جزءاً منها يتحول إلى طاقة حرارية ، غالباً ما تنتقل
إلى الجو المحيط بالإشعاع والتوصيل ، وقد تسبب في بعض الأحيان رفع درجة
حرارة النبات أو النسيج عن درجة حرارة الوسط الذي يحيط به ، وهذا
ما يشاهد عند إنبات البذور وتفتح الأزهار ، وقد سجل ارتفاع في درجة
حرارة الثورات القينوية لبعض النباتات مقداره $27,5^{\circ}\text{C}$ عن درجة حرارة
الجو المحيط بها .

ويمكن إثبات انبعاث طاقة حرارية في أثناء التنفس بوضع أعضاء نباتية
ناشطة - كالبذور النابتة مثلاً - في وعاء محكم كزجاجات الترموس أو
دوراق ديوار (Dewar flasks) حتى يكون فقدها للحرارة ضئيلاً أو معدوماً
ويستخدم لذلك دورقان نظيفان ، توضع في أحدهما بذور بسلة نابتة حية
ويوضع في الآخر قدر مساو من نفس البذور النابتة التي سبق غليها في الماء
قبل بدء التجربة مباشرة ، ثم تسد فوهة كل دورق بسدادة من القطن ينفذ
خلالها ترمومتر (شكل ٣٥٧) يسجل درجات الحرارة على فترات . ويجب
لكي تكون النتائج دقيقة أن تعقم البذور والأدوات المستخدمة في التجربة
حتى لا يكون ارتفاع درجة الحرارة منبعثاً عن تنفس الكائنات الدقيقة التي
تنمو وتزدهر في البيئة غير المعقمة . وعلى أية حال فإن الترمومتر الموضوع
بين البذور الحية يسجل ارتفاعاً ملحوظاً في درجة الحرارة عن تلك التي
يبينها الترمومتر الآخر والتي لا تكاد تتغير طوال فترة التجربة .

(شكل ٣٥٧)



دوران من دوران ديوارى بعد
اعدادها لتقدير الارتفاع في درجة
الحرارة في أثناء نضج البذور
الثابتة لمدة

أما ذلك الجزء من الطاقة الذى
يستفيد منه النبات فيتحول بعضه إلى
طاقة كيميائية تخزن في بعض المركبات
على صورة روابط فوسفورية غنية
بالطاقة ، ومن أمثلة هذه المركبات
أدينوسين ثنائى وثلاثى الفوسفات ،
وفيها يخزن ١٢,٠٠٠ سعر في كل
من الرابطين الفوسفوريتين الثانية
والثالثة .

وفيما يلي تركيب أدينوسين ثلاثى
الفوسفات برابطيه الفوسفوريتين
الغنيتين بالطاقة :

أدينوسين - فوسفات - فوسفات - فوسفات

وهذه المركبات المحملة بالطاقة يمكن أن تستخدم في بناء المواد المعقدة من
مواد أبسط تركيباً كبناء النشا من السكر ، والمواد البروتينية من السكر
والنيرات . وبناء المواد الدهنية من السكر . فمثلا يستخدم أدينوسين ثلاثى
الفوسفات المتكون في أثناء عملية التنفس في فسفرة الجلوكوز ، وبذلك يتكون
جلوكوز - ٦ - فوسفات الذى يمكن أن يتحول إلى جلوكوز - ١ - فوسفات
ويتحول هذا المركب الأخير إلى النشا وتنتقل الفوسفات غير العضوية
في وجود إنزيمات بناء النشا . وعلى ذلك فالطاقة اللازمة لتكوين الروابط
الجليكوسيدية في النشا مستمدة من طاقة الروابط الفوسفورية في جلوكوز
- ١ - فوسفات ، ومصدر هذه الطاقة أصلاً هو التنفس .

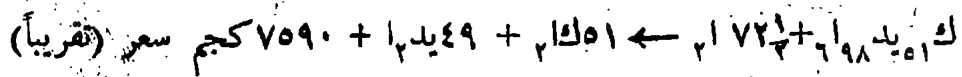
ومن العمليات التي يتطلب قيامها في النبات وجود الطاقة انتقال المواد
من خلية إلى خلية ، وحركة البروتوبلازم الإنسيابية ، وفي بعض الأحيان
حركة الكائن الحى كله ، وامتصاص الأملاح وتراكبها ، ونمو الساق ضد
الجاذبية واختراق الجذر للتربة . ومصدر معظم هذه الطاقة - إن لم يكن كلها

— هو عملية التنفس . وعلى ذلك فيمكن الجزم بأن النبات في حاجة إلى مدد مستمر من الطاقة ، شأنه في ذلك شأن الحيوان ، وهو يحصل عليها من عملية التنفس ، وليس هناك غير التنفس عملية لا ينقطع حدوثها في الخلايا الحية .

معامل التنفس أو النسبة التنفسية :

إذا كانت المادة المستهلكة في التنفس سكرأ بسيطاً فإنه يتضح مما سبق أن ستة جزيئات من الأكسجين قد استعملت في أكسدة جزيء واحد من هذا السكر وأن ستة جزيئات من ثاني أكسيد الكربون قد فصاعدت نتيجة لذلك أي أن النسبة بين حجم ثاني أكسيد الكربون المتصاعد وحجم الأكسجين الممتص $(\frac{٢١}{٢١})$ تساوى الوحدة . ويطلق على هذه النسبة اسم « النسبة التنفسية » (Respiratory ratio) أو « معامل التنفس » (Respiratory quotient) . وتتوقف قيمته على نوع المادة المستهلكة من جهة وعلى طبيعة عملية التنفس من جهة أخرى . فمثلاً إذا كانت مادة التنفس سكرأ — كما رأينا — فإن معامل التنفس يساوى الوحدة . وتنتج مثل هذه القيمة عندما تستعمل في التنفس مادة كربو إيدراتية معقدة كالنشا ، وذلك لأنها تتحول أولاً إلى سكر سداسى .

أما إذا استخدمت في التنفس مادة دهنية فإنها تتطلب قدراً كبيراً من الأكسجين لكي يتم تأكسدها إلى ثاني أكسيد الكربون والماء ، وذلك لأن نسبة الأكسجين في جزيئها أقل من نسبته في جزيء المادة السكرية . فمثلاً يتطلب تأكسد جزيء الدهن « ثلاثى البالميتين » (Tri-palmitin) تأكسداً تاماً استهلاك $\frac{٧٢}{٢١}$ جزيء من الأكسجين ، ويتصاعد في نفس الوقت ٥١ جزيئاً من ثاني أكسيد الكربون كما يتضح من المعادلة :



وعلى ذلك فإن معامل التنفس عندما تكون المادة المستعملة دهناً يقل عن

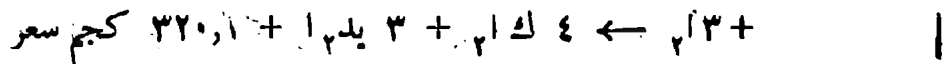
الوحدة ، وهو في هذه الحالة يساوى $\frac{٢١ \text{ك}٥١}{٢١ \frac{٧٢}{٢١}}$ أى ٠,٧ تقريباً .

وتأكسد المادة الدهنية لا يكون في الحقيقة تأكسداً مباشراً ، بل أنها تتحلل أولاً إلى أحماض دهنية وجليسرين . وكما يعتقد كثير من الباحثين قد تتحول بعد ذلك إلى سكرات بسيطة تعمل كمادة استهلاك مباشرة للتنفس . وهذا التحول - أو غيره من التفاعلات التي يتطلبها تأكسد المادة الدهنية - يستهلك كمية من الأكسجين ، ولا يقابلها خروج أى قدر من ثاني أكسيد الكربون .

وبالمثل عندما تتأكسد نواتج تحليل المواد البروتينية فإن معامل التنفس يكون أقل من الوحدة ، وذلك لأن نسبة الأكسجين إلى الكربون في مثل هذه المركبات أقل منها في المواد الكربوهيدراتية .

وفي بعض النباتات - وخاصة ذات الطبيعة العصيرية - تستهلك في التنفس أحماض عضوية ، وهذه أغنى بالأكسجين من الكربوهيدرات ، ولذلك فإنه - على العكس مما يحدث عندما تستهلك في التنفس مادة دهنية - يكون معامل التنفس فيها أكبر من الوحدة . فمثلاً عند تأكسد حمض المالك والأكساليك وهما من الأحماض الشائعة في النباتات - يكون الأكسجين المستهلك أقل من ثاني أكسيد الكربون الناتج ، وذلك كما يتضح من المعادلتين الآتيتين :

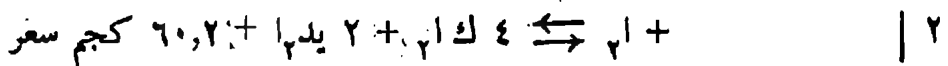
ك ا يد . ك ا ا يد



ك ا يد . ك ا ا يد

(حمض المالك)

ك ا ا يد



ك ا ا يد

(حمض الأكساليك)

وعلى ذلك يكون معامل التنفس مساوياً $\frac{2\text{ك}4}{3\text{أ}}$ (أى ١,٣٣) عند تأكسد حمض المالك ، ويكون مساوياً $\frac{2\text{ك}4}{1\text{أ}}$ (أى ٤) عند تأكسد حمض الأكساليك .

وفي بعض النباتات يستعمل حمض الطرطريك كمادة للتنفس ، وفي هذه الحالة يكون معامل التنفس مساوياً ١,٦ .

وقد يحدث في بعض النباتات ذات الأنسجة الخضراء اللحمية — وخاصة عندما تنفس في الظلام — ألا يكون تأكسد المادة السكرية تاماً ، أى لا ينتج عن تأكسدها ثاني أكسيد الكربون والماء ، بل أحماض عضوية تتراكم في الخلايا ، ففي الفصيلة الصبارية (Cactaceae) يتكون حمض المالك ، وفي جنس الغاسول (Mesembryanthemum) يتكون حمض الأكساليك ، وتمثل المعادلة الآتية تكون حمض المالك من السكر .

ك يد . ايد . ك ا ا يد

٢ ك يد ١,٢ + ٣ ا ← ٣ | ٣ يد ١ + ٣٨٦ كجم سعر
ك يد ٣ . ك ا ا يد

وفي هذه الحالة تكون كمية الأكسجين الممتصة أكبر بكثير من كمية ثاني أكسيد الكربون المنطلقة ، بل قد لا يصحب امتصاص الأكسجين في بعض الأحيان تصاعد أى قدر من (ك ا) ، وعلى ذلك تنخفض قيمة معامل التنفس بدرجة كبيرة ، وهذا ما لوحظ فعلاً في إحدى التجارب التي أجريت على نبات التين الشوكي في الظلام ، إذ بلغ متوسط قيمة هذا المعامل ٠,٠٣ ، فإذا تعرضت هذه النباتات لضوء الشمس (أو لدرجة حرارة مرتفعة) تحللت الأحماض العضوية المتراكمة في الظلام ، وانطلق نتيجة لذلك ثاني أكسيد الكربون الذي يستعمل في البناء الضوئي . ومن المعتقد أن هذا النوع الخاص من التحولات الأيضية يلائم طبيعة النباتات العصيرية — التي يكون التبادل الغازي بين أنسجتها المتضخمة والجو الخارجي بطيئاً — وذلك لأنه يوفر لأنسجة البناء الضوئي فيها قدرأ كافياً من ثاني أكسيد الكربون .

وبالإضافة إلى العوامل الداخلية تؤثر بعض العوامل الخارجية كذلك في قيمة معامل التنفس . فارتفاع درجة الحرارة مثلاً في حدود معينة يرفع من

قيمة هذا المعامل بالقدر الذى تتأثر به سرعة عمليات التأكسد . ففى حالة النباتات العصرية التى سبق ذكرها يساعد ارتفاع درجة الحرارة على تأكسد الأحماض العضوية التى تراكمت فى درجات الحرارة المنخفضة ، ومن ثم يزيد معامل التنفس . كذلك يودى انخفاض تركيز الأكسجين فى الجو المحيط بالنبات عن نسبة معينة - تختلف باختلاف النبات المستعمل - إلى ارتفاع معامل التنفس ، وذلك لاحتمال خروج كمية من ثانى أكسيد الكربون من عمليات لاهوائية لا تتطلب امتصاص الأكسجين . ولزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الجو المحيط بالنبات تأثير ملحوظ فى خفض معدل التنفس ، ولما كان النقص فى ثانى أكسيد الكربون المتصاعد أكبر منه بالنسبة للأكسجين الممتص فإن معامل التنفس ينخفض هو الآخر .

طرق تقدير سرعة التنفس :

يستخدم فى قياس سرعة التنفس عدة طرق ، أسامها تقدير الأكسجين المستهلك أو ثانى أكسيد الكربون المتصاعد أو كليهما معاً ، والأجهزة المستخدمة لذلك كثيرة وخاصة ما يستعمل منها لتقدير ثانى أكسيد الكربون المتصاعد ، إذ أن وسائل تقديره كيميائياً أيسر وأكثر تداولاً . ويجب عندما يراد قياس سرعة التنفس لنبات أو أجزاء نباتية خضراء أن تحجب هذه عن الضوء - أو تجرى التجربة فى الظلام - حتى لا يتعرض التبادل الغازى لتعقيدات مصدرها حدوث البناء الضوئى جنباً إلى جنب مع التنفس ، إذ المعروف أن ما يمتص فى العملية الأولى يتصاعد أثناء العملية الثانية والعكس بالعكس . ومن المتبع عند قياس سرعة التنفس لمادة نباتية ان تنسب كمية الغازات المتبادلة فى الوحدة الزمنية إلى وحدة الوزن الجاف أو الرطب للنبات أو النسيج .

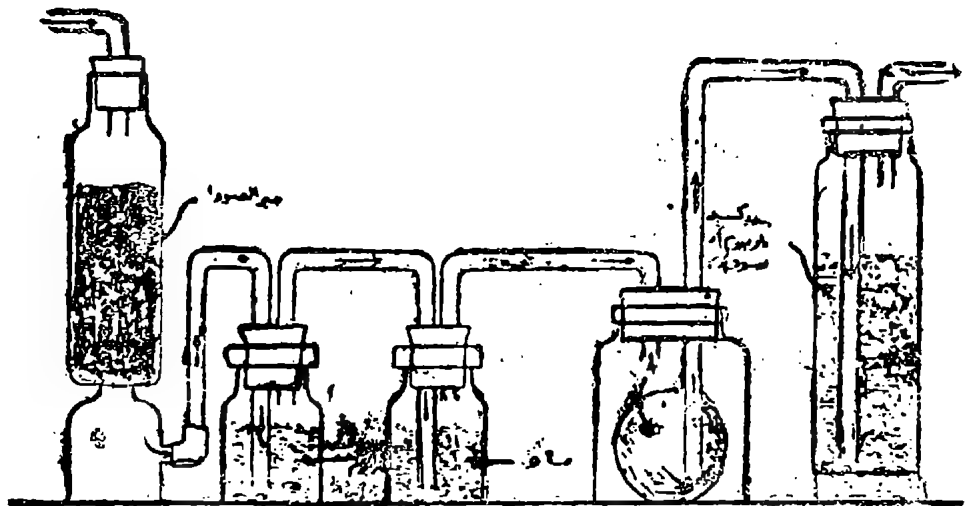
وسنتناول بالشرح فيما يلى بعض الطرق والأجهزة المستخدمة فى تقدير التنفس :

١ - طريقة النار الهوائى المستمر : فى هذه الطريقة يوضع النبات فى

وعاء محكم يدفع فيه تيار مناسب من الهواء الخالي من ثاني أكسيد الكربون ، وذلك بامراره أولاً على جبر الصودا ثم على إيدروكسيد الباريوم (شكل ٣٥٨) للتأكد من خلو الهواء من كـ ا هـ . وبعد مرور الهواء داخل وعاء التنفس وخروجه منه يمرر في محلول من إيدروكسيد الباريوم معلوم القوة ، فترسب كربونات الباريوم نتيجة لامتصاص ثاني أكسيد الكربون المتصاعد أثناء تنفس المادة النباتية المستعملة . بعد ذلك تقدر كمية ثاني أكسيد الكربون بمعادلة المتبقى من إيدروكسيد الباريوم بحامض كلورودريك معروف القوة . وقد يستعمل إيدروكسيد الصوديوم بدلاً من إيدروكسيد الباريوم في مثل هذه التجارب .

وطريقة التيار الهوائي المستمر ليست شديدة الحساسية ، ولذلك تستعمل فيها عادة كمية كبيرة من المادة النباتية وفترة تنفسية طويلة نسبياً حتى يمكن الحصول على قراءات دقيقة ، غير أن هذه الطريقة تمتاز بتجدد الهواء حول الأنسجة النباتية المنتفسة وبذلك لا يتراكم ثاني أكسيد الكربون ، كما أنه يمكن بواسطتها الحصول على قراءات كثيرة متتابعة طوال فترة التجربة .

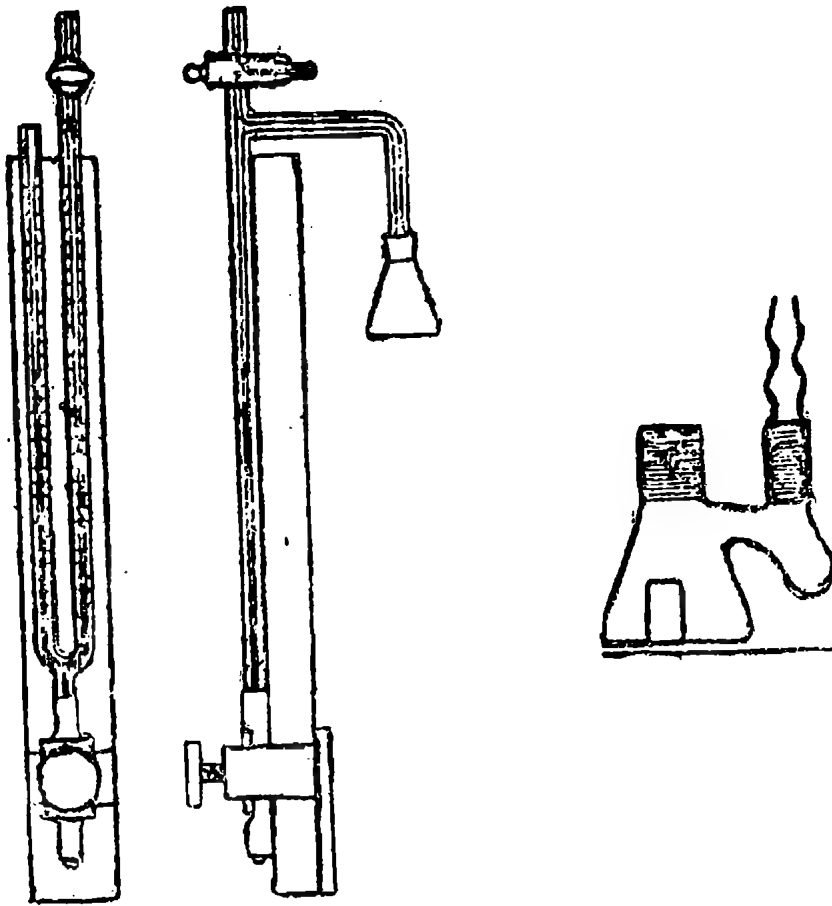
(شكل ٣٥٨)



الجهاز المذكور يستخدم في تجميع سرعة التنفس بطريقة التيار الهوائي المستمر ، ويلاحظ أن الهواء يمر قبل مروره على أنسجة النبات على جبر الصودا وإيدروكسيد الباريوم لخلوهم من ثاني أكسيد الكربون ، ويمر الهواء بعد خروجه من الوعاء - الذي يحتوي على المادة النباتية - على إيدروكسيد الباريوم لامتصاص ثاني أكسيد الكربون الناتج من التنفس .

٢ - الطرق المانومترية : وهى تستخدم فى التقديرات الدقيقة للغازات المتبادلة فى أثناء عملية التنفس . ومن الأجهزة المانومترية المستعملة مانومتر فان بورج (Warburg) - شكل ٣٥٩ - وفيه توضع المادة النباتية فى الدورق المخروطى الصغير الذى يحتوى فى الحوض المثبت فى قاعدته على مادة ماصة لثانى أكسيد الكربون ، غالباً ما تكون إيدروكسيد البوتاسيوم ، ثم يوصل الوعاء بالمانومتر . فعند التنفس تمتص المادة النباتية الأكسجين وينطلق ثانى أكسيد الكربون ، الذى تمتص بواسطة القلوى الموجود فى الوعاء ، وعلى ذلك

(شكل ٣٥٩)



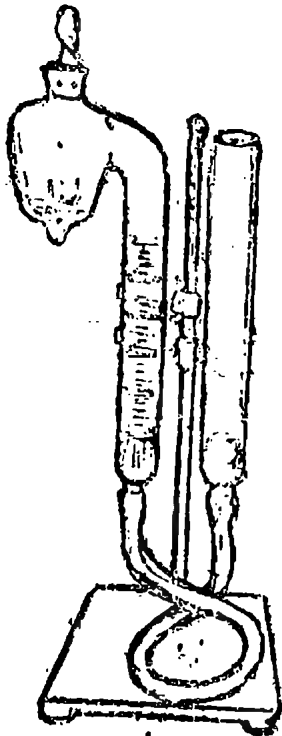
مانومتر فان بورج : الذى يظهر (منظر أمامى) . وفى الوسط (منظر جانبي) يظهر فيه الدورق الصغير الذى يغير ويتذبذب فى حمام مائى درجة حرارته ثابتة ، وإلى اليمين الدورق المستعمل فى تقدير سرعة التنفس ، وفيه يظهر الحوض المثبت فى القاع والتواء الجانبى المثبت عليه سدادة . فترى فيها ثقب ، إذا نطبق على الثقب الموجود فى رقبة التواء اتصل هواء الدورق بالهواء الجوى ، وإذا لم يتطابق قطع الاتصال الهوائى

يتناقص حجم الغاز في الوعاء ويرتفع السائل في ساق المانومتر القريبة منه بمقدار الأكسجين المستهلك فقط .

وإذا أجريت في نفس الوقت تجربة أخرى تستخدم فيها مادة نباتية مماثلة للأولى تماماً ، على ألا يوضع القلوى الماص لثاني أكسيد الكربون في حوض الدورق ، فإن المانومتر في هذه الحالة سيسجل الفرق بين حجم ثاني أكسيد الكربون المتصاعد وحجم الأكسجين الممتص ، وفي هذه الحالة يمكن حساب كمية الغازين وتقدير معامل التنفس .

٣ - مقياس جانونج للتنفس : (Ganong's respirometer) : يمكن بواسطة هذا المقياس (شكل ٣٦٠) تقدير كمية الأكسجين المستهلك وثاني أكسيد الكربون المتصاعد . ولإجراء التجربة يوضع في مستودع المقياس ٢ سم^٣ من المادة النباتية ، التي غالباً ما تكون بذوراً نابتة ، ثم يوضع في مانومتر المقياس محلول مركز من ملح الطعام حتى لا يذوب فيه ثاني أكسيد الكربون المتصاعد من التنفس . وقبل بدء التجربة يحرك الغطاء الزجاجي حتى ينطبق ثقبه على الثقب الموجود في عنق المستودع - وذلك لكي يصبح ضغط الهواء حول المادة النباتية ضغطاً جويماً - ثم يضبط سطح المحلول في ساق المانومتر المدرجة عند تدريج المائة ، وبذلك يكون حجم الهواء داخل الجهاز ١٠٠ سم^٣ . وتبدأ التجربة بتحريك الغطاء الزجاجي حتى ينقطع الاتصال بالجو الخارجي ثم يترك الجهاز مدة من الزمن تستهلك فيها الأنسجة الأكسجين وتطرد ثاني أكسيد الكربون .

(شكل ٣٦٠)



مقياس جانونج للتنفس

فإذا كان حجم الأكسجين المستهلك مساوياً لحجم ثاني أكسيد الكربون المتصاعد فإن سطح المحلول في المانومتر لا يتغير ، ويحدث هذا عندما تكون المادة المستهلكة في التنفس مادة كربوهيدراتية . فإذا أضيف إلى المحلول الملحي كرات صغيرة من الصود الكاوية فلإنها تمتص ثاني أكسيد الكربون المتراكم ويرتفع سطح المحلول في الساق المدرجة بمقدار حجم هذا الغاز ، الذي يمثل في نفس الوقت حجم الأكسجين الممتص ، وعلى ذلك يكون معامل التنفس مساوياً للوحدة .

أما إذا اختلف حجم الغازين المتبادلين فإن سطح المحلول في المانومتر يتغير ، فإذا كان حجم الأكسجين المستهلك أكبر من حجم ثاني أكسيد الكربون المتصاعد ارتفع سطح المحلول في ساق المانومتر المدرجة بمقدار هذه الزيادة ، ويحدث هذا عندما تكون المادة المستهلكة في التنفس مادة دهنية . فإذا فرضنا أن مقدار الزيادة في حجم الأكسجين يعادل (ح_١) ، وأنه عند إضافة الصودا الكاوية ارتفع سطح المحلول في الساق المدرجة بمقدار حجم ثاني أكسيد الكربون (ح_٢) فإن معامل التنفس يكون مساوياً $\frac{ح_٢}{ح_١+ح_٢}$ ، أى أقل من الوحدة .

ولما كان أى تغير في درجة الحرارة يغير من حجم الغاز الموجود في المقياس حول المادة النباتية فقد أصبح من الواجب تصحيح القراءات التي يبينها هذا المقياس حتى نحصل على نتائج صحيحة . ولإجراء ذلك يستعمل جهاز مماثل تستبدل فيه بالمادة الحية مادة غير حية (كالقطن الأبيض مثلاً) ويترك للمقارنة طول فترة التجربة ، فإذا حدث أى تغير في حجم ما به من غاز نتيجة لتغير الظروف الخارجية فإن قيمته لا بد أن تطرح أو تضاف إلى القراءة التي يبينها الجهاز الأول .

سرعة التنفس في النباتات والأنسجة المختلفة :

تفاوتت سرعة التنفس بدرجة كبيرة في الأنواع المختلفة من النباتات ، فالفطريات والبكتيريا هي أنشط النباتات تنفساً إذ تبلغ سرعة تنفسها أضعاف

سرعة التنفس لأي نبات راق ، وفي النباتات الراقية تقل سرعة تنفس نباتات الظل والنباتات العصيرية عن مثيلتها في النباتات العادية ، ويوضح الجدول (٢٥) أمثلة لهذا التفاوت في سرعة التنفس .

جدول (٢٥)

سرعة تنفس الأنسجة النباتية المختلفة

(سم^٣ ك^١ في الساعة لكل جرام من الوزن الجاف)

النبات	العضو المستعمل	سرعة التنفس
الخميرة	الخلية الكاملة	٦٠ — ١٠٠
الأسبر جيللس	مزرعة عمرها يومان	٧٨
	مزرعة عمرها أربعة أيام	١١,٥
الطحاطم	أطراف الجذور	٦ — ٨
البنجر	أقراص من الجذور	٠,٣٨ — ١,٦٥
الشعير	بادرات عمرها ٧ أيام	١,٦
عباد الشمس	بذور نابئة	١,٥
	نباتات عمرها ٣ شهور	٠,٢
البسلة	بذور جافة	٠,١٠٠١٢

وليس الاختلاف في سرعة التنفس مقصوراً على النباتات المختلفة ، بل أنها تتفاوت بدرجة ملحوظة بالنسبة للنبات الواحد في مراحل حياته المتتابعة ، فقد وجد أن سرعة تنفس النبات الكامل تصل إلى ذروتها في فترة النمو المبكرة ، ثم تأخذ بعد ذلك في التناقص تدريجياً مع ازدياد النمو ، هذا بالرغم من أن التنفس الكلي للنبات يزداد زيادة مضطردة . والسبب في انخفاض سرعة التنفس أن النبات بتخطيه مرحلة الإنبات إلى مرحلة النمو ثم البلوغ فالشيخوخة يضيف إلى جسمه مواد أغلبها خاملة لاتساهم بقسط ما في عملية التنفس ، إذ المعروف أن البروتوبلازم هو مركز النشاط التنفسي ، ولكنه في النبات البالغ لا يكون إلا قدراً ضئيلاً بالنسبة إلى ما يوجد به من خشب ومواد غير تنفسية ، وبمعنى آخر تزداد نسبة المواد الخاملة في وحدة الوزن الجاف

التي ينسب إليها التنفس . وما ينطبق على النبات الكامل ينطبق على كل عضو من أعضائه على حدة .

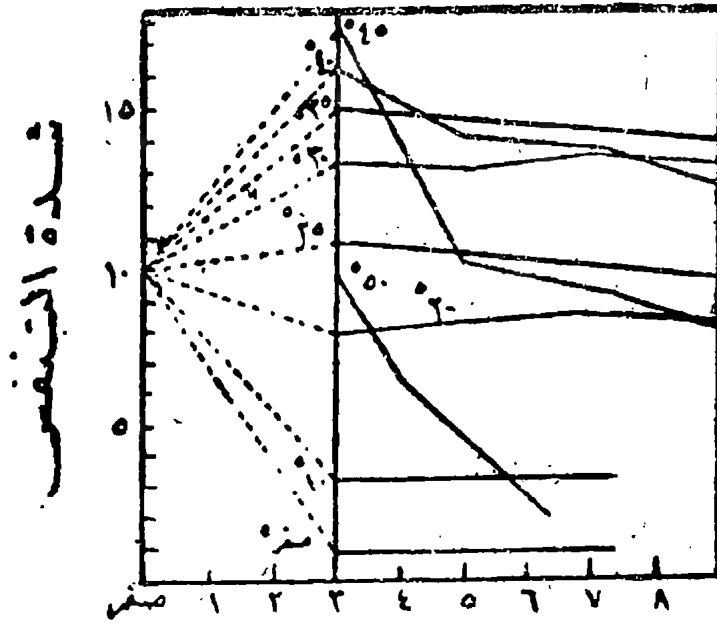
كذلك تختلف سرعة التنفس بالنسبة للأعضاء المختلفة لنفس النبات الراق فالأوراق عامة أنشط في تنفسها من الجذور أو السيقان أو الثمار ، وهي التي تساهم بقسط وافر في التبادل الغازي للنبات جميعه . والأنسجة المختلفة للعضو الواحد تختلف هي الأخرى في سرعة تنفسها ، فالكامبيوم يتنفس بسرعة أكبر من اللحاء أو الأنسجة الخشبية ، ويعزى ذلك - كما سبق أن ذكرنا - إلى أن الأنسجة الخشبية تحتوى على نسبة كبيرة من مواد الجدار الحاملة .

وفي البلور الساكنة والجراثيم تبلغ سرعة التنفس حداً كبيراً من الضلالة ولكنها ترتفع ارتفاعاً ملحوظاً عند الإنبات . ولا تعزى ضلالة سرعة التنفس في هذه الأنسجة إلى زيادة نسبة المواد الحاملة وانخفاض نسبة البروتوبلازم ولكن إلى عوامل أخرى أهمها نقص المحتوى المائى .

العوامل التي تؤثر في سرعة التنفس :

١ - درجة الحرارة : تؤثر درجة الحرارة تأثيراً ملحوظاً في عملية التنفس ، ويتضح ذلك من نتائج التجارب التي يمثلها الرسم البياني (شكل ٣٦١) . وقد استعملت في هذه التجارب بادرات بسلة عمرها أربعة أيام ، وقدرت سرعة التنفس لعينات منها في درجات حرارة أعلى وأقل من درجة 25°C التي تنفس عندها البادرات بسرعة ثابتة . فوجد أن سرعة التنفس في الدرجات التي تقل عن 25°C تنخفض تدريجياً حتى تصل إلى قيمة معينة تستمر بعدها ثابتة تقريباً . أما في الدرجات التي بين 25°C و 35°C فإن سرعة التنفس ترتفع تدريجياً حتى تصل إلى حد ثابت . وقد وجد أن الزيادة في سرعة التنفس التي تنتج عن كل ارتفاع قدره 10°C (المعامل الحرارى) بين درجتى صفر و 35°C تراوح بين ٢ - ٢,٥ . وتتفق هذه القيمة مع معامل فانت هوف الخاص بالتفاعلات الكيميائية .

(شكل ٣٦١)



العلاقة بين الزمن ودرجة الحرارة ومعدل تنفس بأثرات البيئة . الخطوط المنقطعة تمثل الفترات التي كانت تنفس فيها درجة حرارة البادرات من ٢٥ درجة مئوية إلى الدرجة المطلوبة (بنو نتائج وبنو نادر ١٩٢٣)

أما عند درجات الحرارة التي فوق ٣٥° م ، فإن سرعة التنفس تكون محصلة عاملين متضادين . أولها استمرار التأثير المنشط للحرارة في سرعة التفاعلات الكيميائية للتنفس ، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة مبدئية ملحوظة في معدل العملية عند درجتى ٤٠° و ٤٥° م ، أما العامل الآخر فثبط ، وهو أن درجات الحرارة فوق ٣٥° م تؤدي إلى تناقص النشاط الإنزيمى تدريجياً ، وإلى هذا العامل الثانى يعزى كل انخفاض في التنفس يشاهد عندما تطول فترة التجربة في أى درجة حرارة فوق ٣٥° م . وكلما ارتفعت درجة الحرارة كان الانخفاض في سرعة التنفس أسرع ، وعند درجة ٥٠° م لا تكون هناك زيادة مبدئية في سرعة التنفس بل على العكس يبدأ عندها التنفس منخفضاً عن سرعته عند درجة ٢٥° م .

ومن نتائج التجارب السابقة تتضح العلاقة بين تأثير درجة الحرارة وعامل الزمن ، فبينما كانت سرعة التنفس بعد ثلاث ساعات عند درجة ٤٥° م أعلى

منها عند درجة 30°م ، كانت هذه السرعة بعد خمس ساعات عند 30°م أعلى منها عند 45°م . ويبدو بوجه عام أنه كلما طالت فترة التجربة كانت الدرجة المثلى منخفضة .

ودرجة الحرارة المثلى لتنفس بأدورات البسلة - وهي أقصى درجة حرارة تستمر عندها سرعة التنفس ثابتة لا تنخفض بمرور الزمن - تقع بين درجتى 30°م و 35°م . والدرجة المثلى ليست ثابتة لكل النباتات بل تختلف من نبات لآخر .

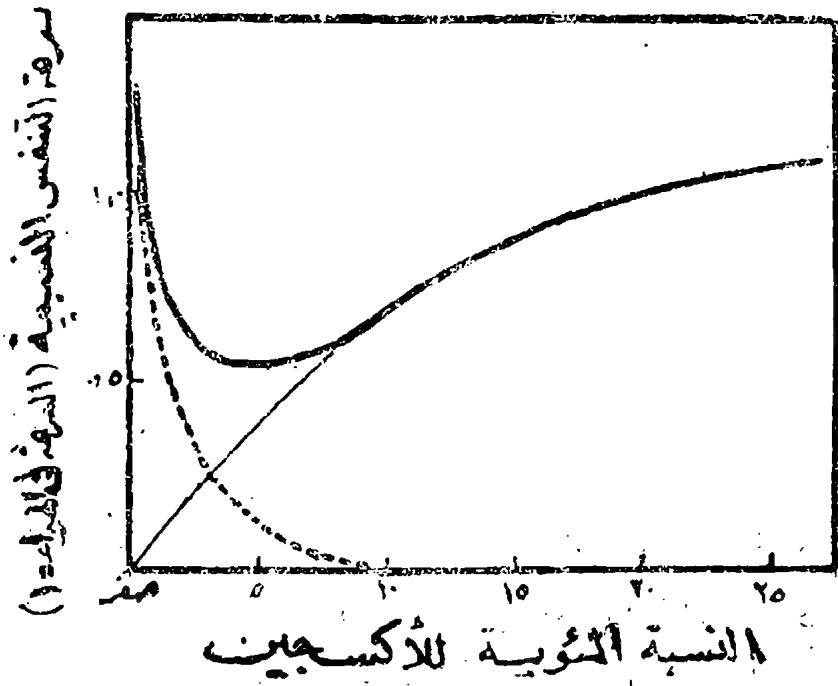
٢ - تركيز الأكسجين الجوى : تنفس أنسجة النباتات الراقية عند نقص الأكسجين حولها عن تركيزه العادى تنفساً لاهوائياً إلى جانب تنفسها الهوائى ، وعلى ذلك فإن ثانى أكسيد الكربون الناتج فى التركيزات المنخفضة من الأكسجين يكون مختلط المصدر ، فبعضه من التنفس الهوائى وبعضه الآخر من التنفس اللاهوائى ، وفى غياب الأكسجين يكون كل ثانى أكسيد الكربون الناتج لاهوائياً . وقد أوضح ستش (Stich) من دراساته على سرعة التنفس أن تركيز الأكسجين قد ينخفض إلى نسبة ضئيلة (٥ ٪) أو أقل على حسب نوع النسيج) قبل أن يبدأ التنفس اللاهوائى الذى يصحبه ارتفاع ملموس فى سرعة التنفس .

أما بالنسبة لتأثير تركيز الأكسجين فى سرعة التنفس فقد وجد أن ذلك يختلف باختلاف الأنسجة ، فدرجات البطاطس لا تتأثر سرعة إنتاجها لثانى أكسيد الكربون بتغير تركيز الأكسجين من ٦,٢ ٪ إلى ١٠٠ ٪ ، إلا أنه فى غياب الأكسجين تنخفض سرعة تصاعد هذا الغاز كثيراً . وفى درنات الطرطوفة وجد أن سرعة انطلاق ثانى أكسيد الكربون لا تتأثر بتركيزات الأكسجين التى فوق تركيزه الجوى ، ولكنها تنخفض تدريجياً كلما تناقص تركيز الأكسجين عن تركيزه العادى فى الهواء .

وفى ثمار التفاح يختلف تأثير التركيزات المنخفضة من الأكسجين عنه فى الأنسجة السابقة ، أما فى التركيزات العالية فإن كل زيادة فى التركيز عن التركيز الجوى يصحبها زيادة فى سرعة تصاعد ثانى أكسيد الكربون . فقد

وجد بلا كمان وباريجا (Blackman & Parija) من نتائج تجاربهما على التفاح أن سرعة انطلاق ثاني أكسيد الكربون في جو من النيتروجين تكون مرتفعة ، ثم تأخذ في التناقص كلما زاد تركيز الأكسجين حتى تصل إلى نهاية صغرى عندما يبلغ تركيز الأكسجين ٥٪ أو ٩٪ على حسب نوع الثمار المستعملة ودرجة نضجها ، وكل زيادة بعد ذلك في تركيز الأكسجين حتى ١٠٠٪ تصبحها زيادة في سرعة التنفس . وقد عبر بلا كمان عن هذه النتائج برسم تخطيطي (شكل ٣٦٢) ، يمثل الخط السميك فيه ثاني أكسيد الكربون الناتج في التركيزات المختلفة من الأكسجين ، ويمثل الخط الرفيع الأكسجين الممتص في نفس الوقت ، أما الخط المتقطع فيمثل الفرق بين الاثنين ، وهو يساوى

(شكل ٣٦٢)



رسم تخطيطي يوضح علاقة التنفس في التفاح بدرجة تركيز الأكسجين . يمثل الخط السميك سرعة تصاعد ثاني أكسيد الكربون في التركيزات المختلفة للأكسجين ، ويتبع استهلاك الأكسجين نفس الأنحنى مادام بمعدل التنفس يساوى الوحدة ولا يمكنه أن يعرف . كما يوضح من الخط الرفيع - في التركيزات المنخفضة ويمثل الخط المتقطع زيادة ثاني أكسيد الكربون المتصاعد على الأكسجين المستهلك وهو الذي تعادل ثاني أكسيد الكربون اللازم والحد .

ثاني أكسيد الكربون الناتج لاهوائياً (١) . وطالما كان ذلك موجوداً فإن معامل التنفس يرتفع عن الوحدة . والنقطة التي يصبح عندها التنفس اللاهوائي منعدماً - ومن ثم ينخفض المعامل إلى الوحدة - تعرف « بنقطة الانتهاء للتنفس اللاهوائي » (Extinction point of anaerobic respiration) ، وهي ليست ثابتة في جميع النباتات ، ولكن تختلف من نبات إلى نبات ، وحتى في العضو النباتي الواحد تختلف باختلاف درجة نضجه كما رأينا في حالة التفاح ، ففي الثمار السليمة تقع هذه النقطة بين ٣٪ و ٥٪ أكسجيناً . ولكنها ترتفع كلما تقدمت الثمار في السن . وقد يكون ذلك لضعف قدرة إنزيمات التنفس على التأكسد .

وقد استغلت ظاهرة انخفاض سرعة التنفس إلى نهاية صغرى عند تركيب معين من الأكسجين في عملية حفظ الفواكه . فقد وجد أن ما يتصاعد من ثاني أكسيد الكربون في فترة نضج ثمرة ما ثابت للنوع الواحد ، وعلى ذلك فإن أية وسيلة تعطل ثاني أكسيد الكربون لا بد وأن تؤخر نضج هذه الثمرة ، ويمكن أن يتحقق ذلك بالتحكم في تركيز الأكسجين في غرف الاختزان .

٣ - تركيز ثاني أكسيد الكربون : تنخفض سرعة التنفس إذا زاد تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو المحيط بالأنسجة المنتفسة زيادة كبيرة . وقد لوحظ أن نسبة الانخفاض في ثاني أكسيد الكربون المتصاعد أكبر منها في الأكسجين الممتص . وعلى ذلك فكلما زاد تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو انخفض معامل التنفس .

ومما تجدر الإشارة إليه أن تأثير الأكسجين وثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة في التنفس قد استغل إقتصادياً في حفظ الفواكه والخضراوات ، فقد تبين أن حفظ ثمار التفاح في جو يحتوي على ٥٪ ثاني أكسيد كربون ، ٣٪ أكسجين ، ٩٢٪ نيتروجين وعند درجة حرارة ٤° - ٥° م يؤدي إلى

(١) هذا يفرض أن النسبة بين ثاني أكسيد الكربون الناتج والأكسجين الممتص (معامل التنفس) في التنفس الهوائي تظل ثابتة في التركيزات المختلفة من الأكسجين .

انخفاض سرعة التنفس وغيره من التحولات ، لدرجة أن الثمار بعد اختزانها لمدة ثمانية أشهر أو أكثر في الظروف السابقة كانت أجود من ثمار مماثلة حفظت لمدة أقل في أماكن الحفظ العادية حتى ولو كانت درجة الحرارة عند الصفر المئوي .

٤ - تركيز مادة التنفس : لما كان التنفس يشتمل على أكسدة المواد العضوية التي توجد في الخلايا الحية كان من المتوقع أن يؤثر تركيز هذه المواد في سرعة التنفس . ويمكن القول عموماً أن زيادة المواد الذائبة تؤدي إلى زيادة سرعة التنفس حتى نقطة معينة تصبح عندها العملية محددة بعامل آخر .

وقد درست العلاقة بين تركيز مادة التنفس وسرعة العملية في أنواع مختلفة من الأنسجة النباتية ، فلقد لاحظ كثير من الباحثين أن تنفس الخيوط الفطرية والأوراق الصفراء وغيرهما من الأنسجة النباتية - كأقراص جذور البنجر والجزر ودرنات البطاطس - يزداد عند نحرها في محاليل السكريات المختلفة وخاصة السكروز والجلوكوز والفركتوز والمولتوز .

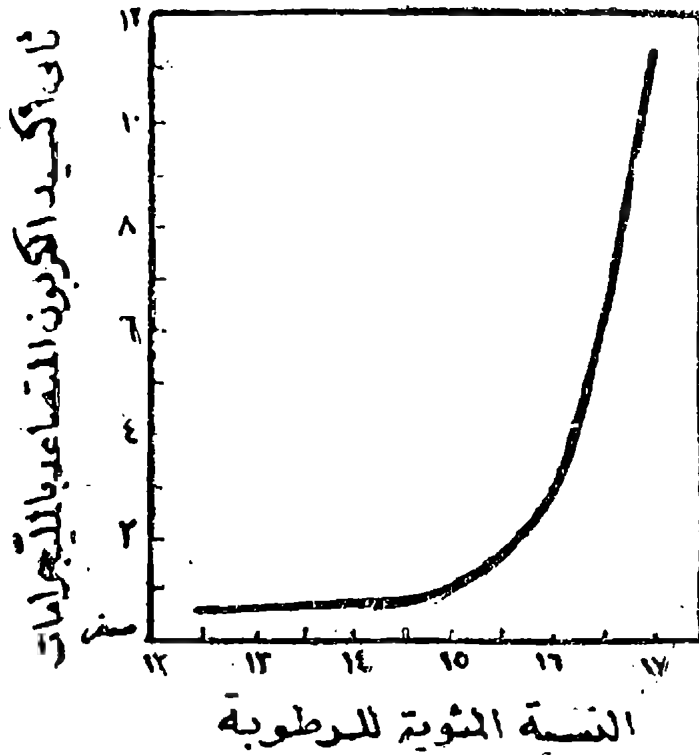
ويزداد كذلك تنفس الأوراق الخضراء في الظلام عقب تعرضها للضوء مدة كافية ، وذلك لأن قيام الأوراق بعملية البناء الضوئي يؤدي إلى زيادة محتواها من السكر . أما إذا تركت الأوراق في الظلام مدة طويلة فإن سرعة التنفس لا تلبث أن تنخفض نتيجة لتناقص محتواها السكري ، ويستمر هذا الانخفاض فترة من الزمن ثم يعقبه ارتفاع ثان بالرغم من استمرار النقص في المحتوى الكربوهيدراتي ، غير أن هذا الارتفاع المؤقت لا يلبث أن يعقبه انخفاض في سرعة التنفس يستمر حتى تموت الخلايا . وقد فسر الارتفاع الثاني بأنه نتيجة لاستعمال بروتين السيتوبلازم نفسه في التنفس بعد نفاد المواد الكربوهيدراتية .

وفي بعض الأحيان يكون لدرجة الحرارة تأثير غير مباشر على سرعة التنفس . فإذا حفظت درنات البطاطس في درجة بين صفر° و ٥°م مدة شهرين أو أكثر ، فإن تنفس هذه الدرناات عندما تنقل إلى درجة الحرارة العادية يكون أسرع من تنفس درنات مماثلة لم تعامل نفس المعاملة . والسبب

في ذلك أن درجات الحرارة المنخفضة تؤدي إلى ازدياد المحتوى السكري للبرنات نتيجة لتحلل بعض النشا المدخر فيها .

٥ - المحتوى المائي للأنسجة : يتضح تأثير الماء في التنفس من التجارب التي أجريت على البذور المختلفة ، فقد وجد أنه في حدود معينة يؤثر المحتوى المائي تأثيراً كبيراً على سرعة التنفس . فزيادة المحتوى المائي لحبوب القمح مثلاً من ١٢٪ - التي نحتوي عليها الحبوب الجافة - إلى ١٦٪ يؤثر تأثيراً ضئيلاً على التنفس ، ولكن زيادة المحتوى المائي من ١٦ - ١٧٪ تسبب ارتفاعاً كبيراً في سرعة التنفس (شكل ٣٦٣) ، وعلى ذلك فن المهم أن يكون المحتوى المائي للحبوب عند تخزينها أقل من الحد الذي ترتفع عنده سرعة التنفس .

(شكل ٣٦٣)



العلاقة بين المحتوى المائي لحبوب القمح وسرعة التنفس (من نتائج بيل وجوهار ١٩١٨)

ويعزى انخفاض التنفس عندما يكون المحتوى المائي للبذور قليلاً إلى أن معظم ما بها من ماء يوجد في صورة مرتبطة لا تلائم عمليات التحليل المائي ،

ومن ثم فلا تتحلل المواد العضوية المدخرة إلى مواد بسيطة تستعمل في التنفس ، كذلك بسبب نقص المحتوى المائى لأغشية الخلية ضعف نفاذيتها للأكسجين وثانى أكسيد الكربون . أما حينما تزداد نسبة الماء من ١٦-١٧٪ في حالة حبوب القمح فإن هذه الزيادة تكون حرة ، أى تصلح كوسط للتفاعلات التحليلية (مثل تحليل النشا المدخر في البذور النشوية إلى سكر) وغيرها .

وعلى ذلك يزيد التنفس زيادة كبيرة ، وكلما زادت نسبة الماء عن ١٧٪ ارتفع التنفس بدرجة كبيرة ، غير أن نسبة الزيادة تتضاءل سريعاً كلما اقترب تشبع الأنسجة .

أما الأنسجة التى تحتوى على نسبة عالية من الماء — مثل الأوراق العادية والثمار والدرنات والسيقان والجذور — فإن سرعة تنفسها تكاد لا تتأثر بالتغيرات العادية فى محتواها المائى ، وذلك لأن قدرأ كبيرأ من الماء الذى تحتوى عليه يوجد فى حالة حرة .

وعلى عكس ما سبق قد يودى نقص المحتوى المائى فى بعض الأنسجة النباتية إلى زيادة التنفس . فعندما تقترب أنسجة الأوراق أو غيرها من الأعضاء النباتية من حالة الذبول يتحالم ما بها من نشا متراكم إلى سكر . وهذه الزيادة فى محتوى الخلايا من السكر تسبب ارتفاعاً فى سرعة التنفس . وهو ما يلاحظ عادة عند ذبول الأنسجة .

٦ — الضوء : ليس من اليسير الحكم على مدى التأثير المباشر للضوء فى عملية التنفس ، إذ أن الزيادة الناتجة عند تعريض الأنسجة المتنفسة للضوء ضئيلة لا تكاد تذكر ، خاصة إذا كانت خالية من الكلوروفيل . أما فى الأنسجة الخضراء فيكون تأثير الضوء على التنفس غير مباشر إذ أن الزيادة فيه تعزى إلى ما يتكون من مادة التنفس فى أثناء البناء الضوئى .

وفى حالات الإضاءة الشديدة ترتفع درجة حرارة الأنسجة فتزداد سرعة التنفس ، ويكون تأثير الضوء فى هذه الحالة غير مباشر .

وفى النباتات العصبية يزداد انطلاق ثانى أكسيد الكربون فى الضوء نتيجة لتحلل الأحماض العضوية التى تراكت داخل الأنسجة فى الظلام ، وعلى ذلك فإن النقص فى ثانى أكسيد الكربون الناتج من هذه الأنسجة وهى فى الظلام يكون مرده إلى تأكسد السكر جزئياً إلى أحماض عضوية .

٧ - تأثير إضافة بعض المواد الكيميائية : تؤثر بعض المواد تأثيراً كبيراً على التنفس إذا أضيفت إلى الوسط الذى توجد فيه الخلايا ، وقد درس تأثير الأملاح المعدنية والأحماض والقلويات والمواد العضوية السامة ، فتبين أن تأثيرها يختلف باختلاف المادة المضافة وتركيزها ونوع النسيج المستعمل . فقد وجد بعض الباحثين أن تنفس الأنسجة النباتية يزداد فى وجود محاليل مخففة لعدد من الأملاح .

وقد يكون للأحماض المختلفة تأثير مماثل لتأثير الأملاح ، فعندما استعمل فى إحدى التجارب مخلوط من حامض النيتريك (٠,٠٠٠١ عيارى) ونترات الصوديوم (٠,١ عيارى) كان له تأثير فى زيادة التنفس أكبر من تأثير كل من المادتين على انفراد .

كذلك تبين أن المواد العضوية السامة - كالكلوروفورم والإثير والفورمالدهيد والكحول الإيثيل والقلويدات المختلفة - ذات تأثير ملحوظ على التنفس ، فهى عندما تضاف إلى بيئة النبات بتركيزات جد منخفضة تسبب زيادة فى سرعة التنفس غالباً ما تستمر ما بقى تأثير المادة ، ولكن إضافتها بتركيزات متوسطة تسبب زيادة مبدئية يعقبها انخفاض فى سرعة التنفس عن معدلها المعتاد ، أما التركيزات العالية من هذه المواد فتؤدى إلى انخفاض سرعة التنفس حتى الصفر دون أن تكون هناك زيادة مبدئية . وإذا لم يكن تركيز المادة المستعملة عالياً ولم تكن فترة تعرض النسيج لها طويلة فإن مفعولها يكون عكسياً ، وإلا فلأنها تؤدى إلى الإضرار بالبروتوبلازم نفسه ، ومن ثم يكون تأثيرها غير عكسى .

ونظراً لاشتمال عملية التنفس على تفاعلات إنزيمية متعددة ، فإنه من

المتوقع أن يكون للمواد المثبطة لنشاط إنزيمات التنفس تأثير مماثل في العملية نفسها ، ومن بين هذه المواد السيانيد والأزاييد (Azide) وأول أكسيد الكربون والفلوريدات (Fluorides) وحمض المالمونيك (Malonic acid) وأيودو الخلات (Iodoacetate) وكل منها يؤثر في تفاعل إنزيمي أو أكثر ، وقد سبقت الإشارة إلى تأثير بعضها في باب الإنزيمات .

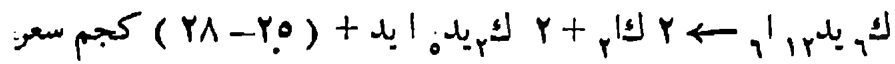
٨- تأثير إحداث الجروح : من الظواهر المعروفة أن إحداث الجروح في الأنسجة النباتية يسبب زيادة مؤقتة في معدل تنفسها . فإذا قطعت درنة البطاطس إلى نصفين فإن سرعة تنفس هذين النصفين يصبح أعلى بكثير من سرعة تنفس الدرنة السليمة ، وقد لوحظ نفس التأثير بالنسبة لكثير من الأعضاء النباتية الأخرى ، وغالباً ما تصل الزيادة في التنفس - الناشئة عن القطع - إلى نهايتها القصوى خلال يومين من حدوث القطع ، تنخفض بعدها سرعة التنفس تدريجياً حتى تصل إلى معدلها العادي في الأنسجة السليمة تقريباً . وليس هناك من شك في أن هذه الزيادة تعزى أولاً إلى انطلاق ثاني أكسيد الكربون المتجمع في المسافات البينية للأنسجة . وخاصة إذا كانت من أنسجة التخزين ، وثانياً إلى ازدياد تنفس الخلايا عند تعرضها للجو وقد كانت قبل القطع مندمجة داخل كتلة النسيج ، وقد تعزى زيادة التنفس أيضاً إلى تجديد النمو الذي كثيراً ما يحدث نتيجة للجروح .

وفي درنات البطاطس يسبب القطع زيادة تركيز السكر وخاصة في الخلايا القريبة من سطح القطع . وهذه الزيادة - التي تبلغ من ٥٣٪ إلى ٦٨٪ من المحتوى السكري الأصلي للدرنات - قد تفسر الارتفاع المشاهد في سرعة التنفس عند تقطيع الدرناات .

التنفس اللاهوائي

إذا نقل نبات إلى جو خال من الأكسجين فإن إنتاجه لغاز ثاني أكسيد الكربون لا ينقطع بل يستمر ، ومعنى هذا أن النبات يمكنه أن يتنفس بمعزل

عن الأكسجين . وتعرف عملية التنفس في هذه الحالة بعملية « التنفس اللاأكسيجيني أو اللاهوائي (Non - oxygen or Anaerobic respiration) وفي هذا النوع من التنفس لا يكون تحلل المادة المستهلكة تاماً إلى ثاني أكسيد الكربون والماء ، بل جزئياً ينتج عنه - علاوة على ثاني أكسيد الكربون - الكحول الإيثيلي وينطلق قدر ضئيل من الطاقة ، ويمكن تمثيل العملية كلها بالمعادلة الآتية :



ويشبه التنفس اللاهوائي إلى حد كبير عملية التخمير الكحولي التي تقوم بها فطيرة الخميرة ، حتى أنه يمكن تمثيلها بمعادلة واحدة هي المعادلة السابقة . وتزداد الأدلة على تطابق العمليتين يوماً بعد يوم ، حتى أن بعض الباحثين يستعمل كلمة التخمير للدلالة على التنفس اللاهوائي ، إلا أن ما جرى عليه العرف هو أن يقتصر استعمال لفظ « التنفس اللاهوائي » على العمليات اللاهوائية في النباتات الراقية ، واستعمال « التخمير » للدلالة على مثيلاتها في النباتات الدنيئة كفطريات الخميرة والبكتيريا .

وتختلف النباتات من حيث درجة تحملها لغياب الأكسجين وحدوث التنفس اللاهوائي في أنسجتها ، فبعض النباتات أو الأعضاء النباتية تستطيع أن تعيش في هذه الظروف لمدة طويلة ، ولكن البعض الآخر يفقد حيويته خلال يوم أو يومين . فبادرات الذرة مثلاً لا تستطيع أن تبقى حية لأكثر من يوم واحد في غياب الأكسجين ، أما ثمار التفاح والكثيرى فتستطيع تحمل الظروف اللاهوائية فترة طويلة دون أن تضار ، وهناك على الأقل عاملان ينتج عنهما التأثير الضار للتنفس اللاهوائي في الأنسجة : أولهما ضالة القدر المنطلق من الطاقة من هذا النوع من التنفس إذا قورن بما ينطلق منها في أثناء التنفس الهوائي . فقد قدر ما ينتج عن استهلاك جزئى من الهكسوز في التنفس اللاهوائي بحوالى (٢٨-٢٥) كجم سعر ، في حين ينتج عن تأكسد نفس الجزئى تأكسداً تاماً في عملية التنفس الهوائي ٦٧٤ كجم سعر . أما العامل الثانى فهو

تراكم نواتج التنفس اللاهوائى كالكحول وغيره من المواد ذات التأثير السام فى البروتوبلازم إلى درجة تؤثر فى حيويته . ولعل قصر فترة تحمل الأنسجة النشطة لغياب الأكسجين ترجع إلى حاجة سائر عملياتها الحيوية إلى قدر كبير من الطاقة لا يمكن استيفاؤه من التنفس اللاهوائى .

والتنفس اللاهوائى — الذى يعتبر ظاهرة مؤقتة فى أنسجة النباتات الراقية تقوم به عندما تحرم من الأكسجين — يكاد يكون الوسيلة الوحيدة للحصول على الطاقة فى كثير من الكائنات الدقيقة ، ويعرف التنفس اللاهوائى فى هذه الحالة بالتخمير ، وأهم كائنات التخمر فطيرة الخميرة التى تقوم بعملية التخمر الكحولى كما سبق أن ذكرنا . وتعتبر عملية التخمر الكحولى أهم عمليات التخمر المعروفة ، وهى تشبه — إن لم تكن تطابق تماماً — عملية التنفس اللاهوائى فى النباتات الراقية .

وهناك أنواع من البكتيريا يمكنها أن تعيش بمعزل عن الأكسجين أو فى وجود تركيزات منخفضة منه ، ومن ثم يكون تنفسها العادى لاهوائياً ، ومن أمثلتها بكتيريا حمض اللاكتيك (Lactic-acid bacteria) وبكتيريا حمض البيوتريك (Butyric-acid bacteria) ، وتشتمل عملية التنفس اللاهوائى فى البكتيريا الأولى على تخمير الجلوكوز أو الجالاكتوز إلى حمض اللاكتيك ومن ثم كان اشتقاق اسمها ، والمعادلة الآتية توضح التفاعل الذى يحدث :

تخمير

ك_١يد_{١٢} ————— ← ٢ ك_٢يد_٣ . ك_١يد_١ . ك_١يد_١ + ٢١ كجم سعر
(بكتيريا اللاكتيك) (حمض اللاكتيك)

ويسبب أحد أنواع بكتيريا اللبن « ستربتوكوكس لاكتيس » (Streptococcus lactis) الترويب العادى للبن .

أما بكتيريا حمض البيوتريك فينتج عن تخميرها للسكر السداسى (هكسوز) حمض البيوتريك وثانى أكسيد الكربون والإيدروجين كما فى المعادلة الآتية :

تخمير

ك_١يد_١ + ك_٢يد_٢ ← ك_٣يد_٣ . ك_٤يد_٤ . ك_٥يد_٥ + ك_٦يد_٦ + طاقة
(بكتيريا البيوتريك) (حمض البيوتريك)

وقد يتكون مع هذه النواتج مركبات إضافية أخرى مثل حمض اللبنيك وحمض الخليك والكحول الإيثيلي والميثيلين . وتختلف بكتيريا حمض البيوتريك عن بكتيريا حمض اللاكتيك في أنها لا هوائية بحتة ، بمعنى أنها لا تنمو إلا في غياب الأكسجين . ومن أهم أنواعها بكتيرة الكلوستريديوم (Clostridium) ، التي تسبب الطعم والرائحة الكريهة للزبد واللبن ولها أهمية اقتصادية في نضج الجبن .

آلية التنفس

إن التنفس الهوائي العادى ، الذى يشتمل على تأكسد المواد الكربوهيدراتية وغيرها من المواد العضوية إلى ثانى أكسيد الكربون والماء ، لا يمكن أن يتم في خطوة واحدة ، بل في عدة خطوات متعاقبة يساعد كلا منها لإنزيم معين .

ونظراً لأن الكحول يتراكم في كثير من النباتات عند تنفسها لاهوائياً فقد رجح فيفر (Pfeffer) وجود ارتباط وثيق بين نوعى التنفس الهوائى واللاهوائى في أنسجة النباتات الراقية ، فافترض أن التنفس الهوائى يتم على مرحلتين ، تتضمن الأولى تجزؤ السكر إلى الكحول الإيثيلى وثانى أكسيد الكربون ، وتتضمن الثانية تأكسد الكحول إلى ثانى أكسيد الكربون والماء . وأولى هاتين المرحلتين لا تتطلب وجود الأكسجين ، وعلى ذلك ففي الظروف اللاهوائية تجرى التفاعلات التي ينتج في نهايتها الكحول الإيثيلى ، أما المرحلة الثانية فالأكسجين شرط أساسى لإتمامها .

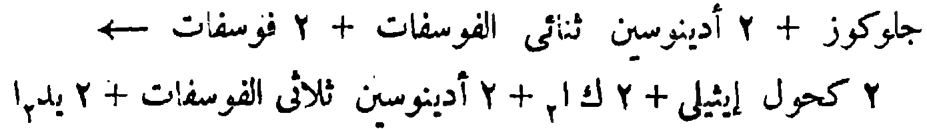
غير أنه لما تعذر إثبات تراكم الكحول في بعض النباتات - كالبطاطس مثلاً - في الظروف اللاهوائية ، بالإضافة إلى ما ثبت من أن تأكسد الكحول الإيثيلى في الخلايا النباتية ليس سهلاً ، فقد عدل عن الرأى السابق ، ووضع

كوستيشيف (Kostychev) نظرية أخرى مؤداها أن التنفس الهوائي واللاهوائي (أو التخمر الكحولي) تتم في عدة خطوات تتكون فيها نواتج وسطية مؤقتة . هذه النواتج الوسطية تتحول في غياب الأكسجين إلى ثاني أكسيد الكربون والكحول ، أما في وجوده فإنها تتأكسد إلى ثاني أكسيد الكربون والماء ، أى أن الخطوات الأولى هي خطوات عامة مشتركة يعتمد سير التفاعل بعدها على وجود الأكسجين أو غيابه . وتعرف المرحلة المشتركة بين نوعي التنفس بالمرحلة اللاهوائية المشتركة أو مرحلة الانشطار الجليكولي (Glycolysis) وخطواتها مشتركة أيضاً مع عملية التخمر الكحولي . أما المرحلة الختامية للتنفس - والتي تتضمن تحول حمض البيروفيك إلى ثاني أكسيد الكربون والماء - فيطلق عليها اسم المرحلة الهوائية .

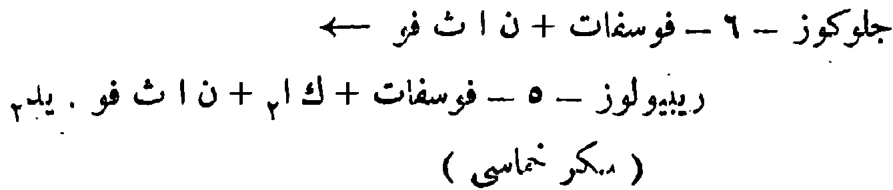
المرحلة اللاهوائية للتنفس : وتعرف أيضاً بمرحلة الانشطار الجليكولي (Glycolysis) وتبدأ بتحول السكريات - سواء أكانت حرة أم متكثفة - إلى سكر سداسي ترتبط به مجموعتان من الفوسفات ، وهو الفركتوز ثنائي الفوسفات ، ويتم في العادة فسفرة المادة السكرية على حساب مركبات غنية بالطاقة (أدينوسين ثلاثي الفوسفات) . بعد ذلك ينشطر هذا الجزيء سداسي ذرات الكربون إلى جزيئين يحتوي كل منهما على ثلاث ذرات من الكربون وهما فوسفات الأسيتون ثنائي الإيدروكسيد والدهيد فوسفو الجليسريك . والمركب الأول لا يدخل في التفاعل بل يتحول تباعاً إلى المركب الثاني كلما قلت نسبته في الخليط .

يتحول ألدهيد فوسفو الجليسريك بعد ذلك إلى حمض فوسفو الجليسريك وهذا بدوره يتحول إلى حمض فوسفو البيروفيك ثم إلى حمض البيروفيك . وينتج في أثناء هذه الخطوات جزيئان من أدينوسين ثلاثي الفوسفات ، يتكون الأول في الخطوات التفصيلية المؤدية إلى تكون حمض فوسفو الجليسريك ويتكون الثاني في الخطوة الأخيرة المؤدية إلى تكون حمض البيروفيك ، كما ينتج جزيء مختزل من المرافق الإنزيمي نيكوتيناميد أدينين ثنائي النيوكليوتيد

ويتكون الكحول تنتهى خطوات التخمر الكحول أو التنفس اللاهوائي وتكون النواتج النهائية لتفكك جزئ من الهكسوز فى كل من العمليتين هى جزيثان من ثافى أكسيد الكربون وجزيثان من الكحول الإيثيلى ، وذلك كما تعبر عنه المعادلة العامة التالية :



ويرجع الفضل فى معرفة معظم هذه الخطوات إلى ثلاثة من العلماء هم إمبدن (Embden) ومايرهوف (Myerhof) وبارناس (Parnas) ومن ثم أطلق عليها مسلك (امب) وهى الحروف الأولى من أسمائهم (EMP Pathway) وعلى الرغم من أن الخطوات اللاهوائية لتكسير الجلوكوز تمثل المسلك الرئيسى لتحويل الكربوهيدرات إلى حمض البيروفيك فإن هناك مسالك أيضية أخرى تؤدى إلى تكوين ثافى أكسيد الكربون . ومن هذه المسالك مسلك فوسفات البنتوز (Pentose phosphate pathway) . وقد تأيد وجود هذا المسلك باستعمال أيودوالحلات والزرنيخيت والفلورايد المعروفة بتثبيطها لخطوات المسلك الجليكولى (Glycolytic pathway) ، حيث أتضح أنها لا توقف تكسير السكر تماماً . ويمكن تمثيل مسلك فوسفات البنتوز بالمعادلة الآتية :



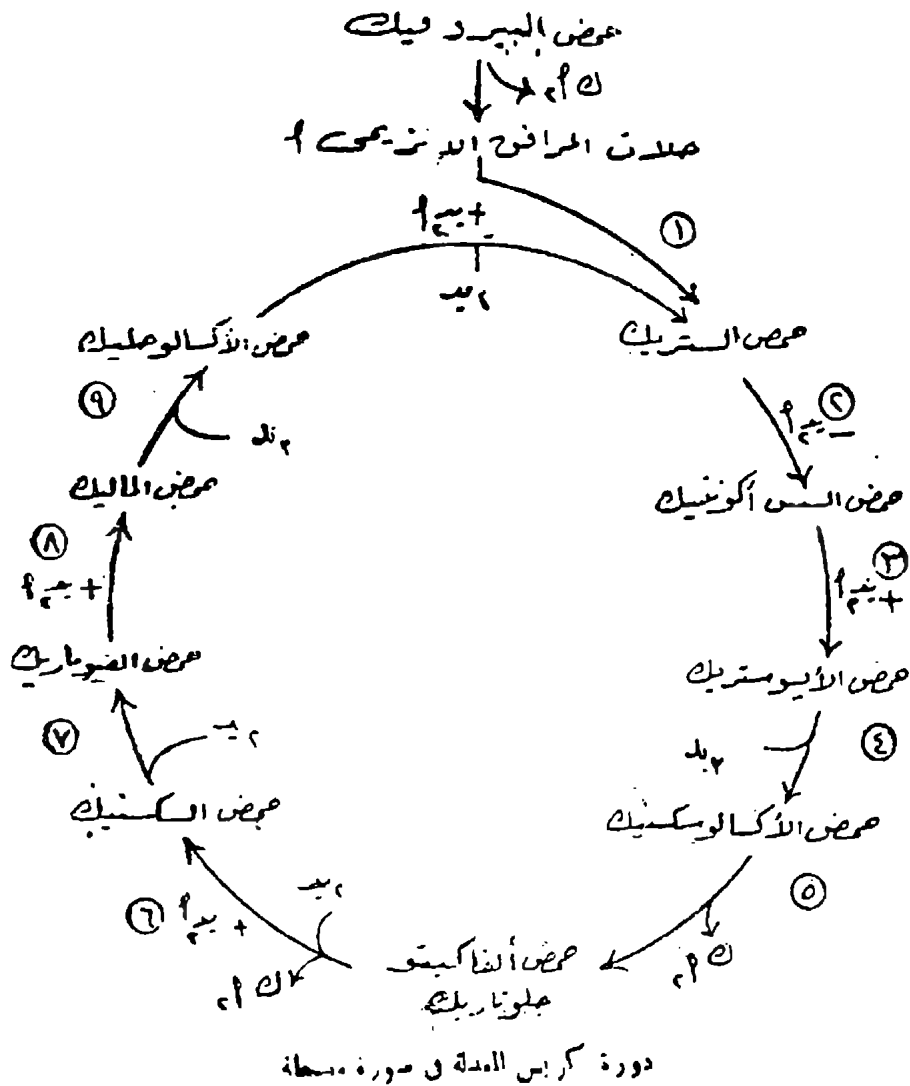
ثم يتأكسد السكر الخماسى بعد ذلك إلى ثافى أكسيد الكربون والماء فى خطوات دائرية معقدة تتضمن عدداً من السكريات الخماسية ، وسكرأ سباعى الكربون وآخر رباعى الكربون ، وفى أثناء هذه التحولات تنطلق ذرات الإيدروجين (أو الإلكترونات) حيث يستقبلها المرافق الإنزيمى ن ا ث فو ، ويمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة الآتية :

ريبولوز - ٥ - فوسفات + ١٠ ن ا ث فو ←

٥ ك ا ٢ + ١٠ ن ا ث فو . يد

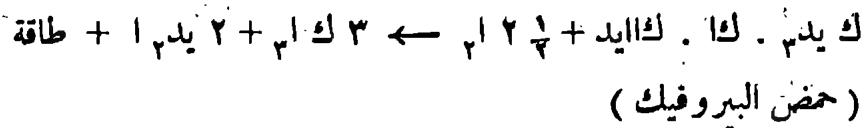
المرحلة الهوائية للتنفس : في هذه المرحلة يتأكسد حمض البيروفيك إلى ثاني أكسيد الكربون والماء . ويتم ذلك عن طريق سلسلة دائرية من التفاعلات اقترحها واستدل على وجودها العالم الإنجليزي كريس ، ولذلك سميت دورة كريس (Krebs cycle) ، وهي موضحة في (شكل ٣٦٤) .

وتبدأ مجموعة التفاعلات الدائرية بفقد حمض البيروفيك لجزء من ثاني أكسيد الكربون وتكوين مركب يحتوى على ذرتين من الكربون ، لايلث أن يتمحول إلى خلاات المرافق الإنزيمى (Acetyl CoA) على حساب أدينوسين (شكل ٣٦٤)



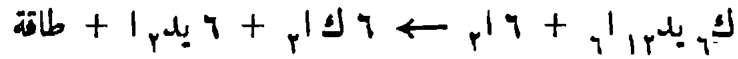
ثلاثي الفوسفات . ثم يتحد هذا المركب بمجرد تكونه مع جزيء من حمض الأكسالوخليليك (Oxalo-acetic acid) ، ويتكون نتيجة لهذا الاتحاد جزيء من حمض ثلاثي الكربوكسيل هو حمض الستريك (Citric acid) . يدخل جزيء هذا الحمض الكبير بعد ذلك في سلسلة من التفاعلات يتكون خلالها حمض السس أكونيتيك (Cis aconitic acid) ، وحمض الأيسوستريك (Isocitric acid) ، وحمض ألفا كيتوجلوتاريك (α-Keto-glutaric acid) ، وحمض السكسينيك (Succinic acid) .

وتنتهي الدورة بإعادة تكوين حمض الأكسالوخليليك الذي يدخل في التفاعلات من جديد ، وبذلك يكون قد تأكسد جزيء من حمض البيروفيك تأكسداً تاماً . والنتيجة النهائية لهذه الدورة من التفاعلات هي انطلاق ثلاثة جزيئات من ثاني أكسيد الكربون في الخطوات التي تتكون فيها أحماض الستريك وألفا كيتوجلوتاريك والسكسينيك . كذلك تشتمل الدورة على خمسة تفاعلات ينتقل في كل منها ذرتان من الإيدروجين من جزيء الحمض العضوي إلى جزيء مركب آخر يقوم بدور المستقبل الإيدروجيني (المرافقات الإنزيمية للدهيدروجينيزات وجزيء السيتوكروم) ، هذه الجزيئات المختزلة لا تتراكم بل تتأكسد بمساعدة الأكسيدات التي تنقل الإيدروجين إلى الأكسجين الجوي ، وواضح أن ذلك يتطلب استهلاك خمس ذرات من الأكسجين لتكوين خمسة جزيئات من الماء ، ولما كانت بعض تفاعلات الدورة تستنفد منها ثلاثة جزيئات (التفاعلات ١ ، ٦ ، ٨) فإن الباقي منها يكون جزيئين فقط ، وتلخص المعادلة الآتية هذه المرحلة الهوائية من التنفس :



ومن الجدير بالذكر أن جزيء المرافق الإنزيمي الذي اختزل في الخطوة الثانية من المرحلة اللاهوائية للتنفس (التي تؤدي إلى تكون حمض البيروفيك) يتأكسد في وجود الهواء ، وتستخدم في هذه الأكسدة ذرة من الأكسجين

وينتج عنها جزيء من الماء . فإذا أضيف ذلك إلى ما سبق أصبحت العمليات المؤدية إلى تكون جزيء واحد من حمض البيروفيك واحتراقه احتراقاً تاماً تتطلب استعمال ثلاثة جزيئات من الأكسجين وخروج ثلاثة جزيئات من الماء ولما كان جزيء الهكسوز يعطى جزيئين من حمض البيروفيك فإن مجموعة التفاعلات التي تشتمل عليها عملية التنفس يمكن إحماها في المعادلة الآتية :

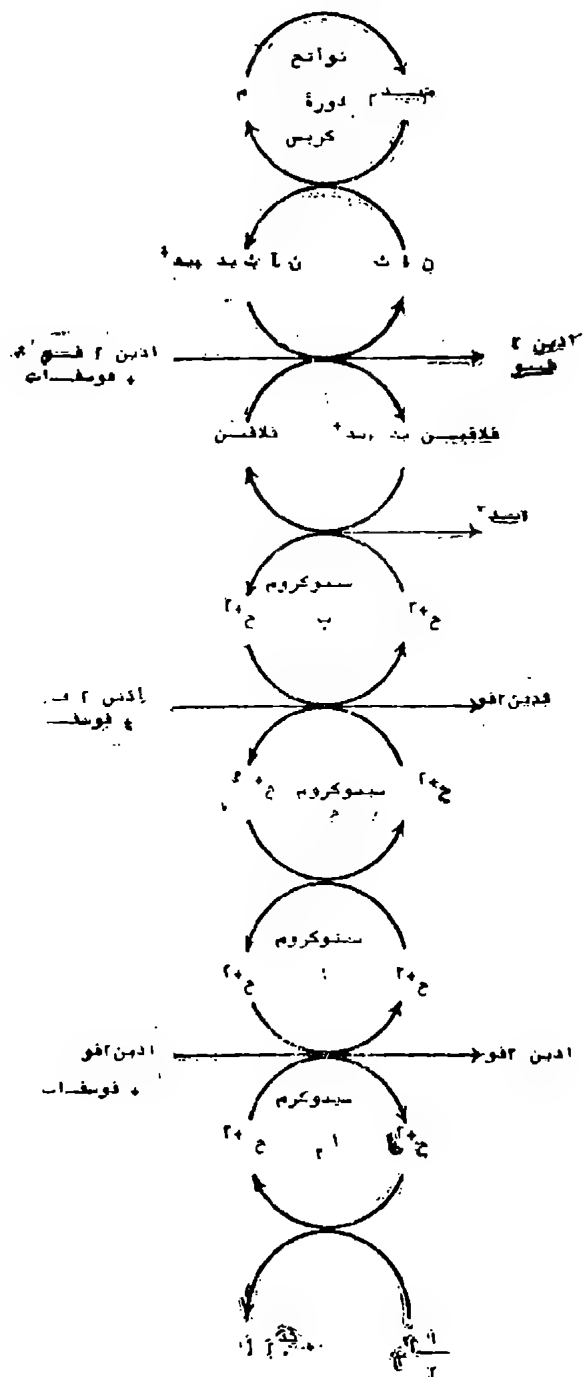


التأكسد الختامي وانطلاق الطاقة :

لاحظنا أثناء دورة كربس أن الانطلاق المرحلي للذرات الإيدروجين يؤدي إلى تكوين مرافقات إنزيمية مختزلة وخاصة (ن ا ث) و (ن ا ث فو) وفلافي ن أدين ثنائي النيوكليوتيد (ف ا ث) . ويتضمن التأكسد الختامي تحت الظروف الهوائية انتقال ذرات الإيدروجين والإلكترونات إلى الأكسجين ويقترن هذا التأكسد الختامي بتكوين أدينوسين ثلاثي الفوسفات الذي ينتج معظمه في هذه المرحلة من التنفس الهوائي . وتم هذه العملية في الميتوكوندريات ويطلق عليها الفسفرة التأكسدية (Oxidative phosphorylation) ويمكن تمثيل التأكسد الختامي . كما في الشكل (٣٦٥) :

ويمثل م يد١ أحد النواتج الوسيطة في دورة كربس ، ومنه ينتقل الإيدروجين في خطوات متتابعة عبر المرافقات الإنزيمية المحتوية على مجموعة الفلافي ن والسيتوكروم ، وفي المرحلة الختامية يتحد الأكسجين مع الإيدروجين مكوناً الماء وذلك بفعل إنزيم أكسيداز السيتوكروم . وفي كل خطوة من خطوات انتقال الإلكترونات ينخفض مستوى الطاقة ، ويستغل فرق الطاقة في تكوين روابط فوسفورية غنية بالطاقة وذلك بتحويل أدينوسين ثنائي الفوسفات إلى أدينوسين ثلاثي الفوسفات . ومع انتقال زوج من الإلكترونات عبر هذه المجموعة يتكون ثلاثة جزيئات من أدينوسين ثلاثي الفوسفات وذلك عند تأكسد ن ا ث . يد والسيتوكروم ب والسيتوكروم ا .

(شكل ٣٦٥)



انتقال الاكترونات عبر سلسلة تبدأ من ن ا ت فو
وتنتهى بالاكسجين الجوى (من ديفلين روثام ١٩٨٣)

ويبلغ عدد جزيئات أدينوسين ثلاثي الفوسفات التي تتكون عند التأكسد التام لجزء من الجلوكوز إلى ثنائي أكسيد الكربون والماء ٣٨ جزيئا يُخزن فيها نسبة كبيرة من الطاقة التي تستخدم في دفع عجلة العمليات التي تتطلبها .

يتضح مما سبق أن عملية التأكسد وانطلاق الطاقة لا تتم في تفاعل واحد ، ولكن في عدد من التفاعلات المتتالية ، ومعظم الطاقة المنطلقة تنتج في المرحلة الهوائية للتنفس ، وخاصة في أثناء التفاعلات التي تشتمل على انتقال الإيدروجين والالكترونات ، كذلك يتضح أن الأكسجين المستخدم في التنفس لا يتحد مباشرة مع المادة الكربوهيدراتية أو غيرها من المواد العضوية ولكنه يشترك في الخطوات النهائية حيث يتكون الماء .

الباب الخامس والثلاثون

البناء الضوئي

غذاء النبات ومصادره :

ينفرد النبات الأخضر بالطريقة التي يبني بها غذاءه ، فهو يحصل من البيئة المحيطة به على مواد غير عضوية بسيطة التركيب . ومن تلك المواد يبني المركبات العضوية المعقدة الغنية بالطاقة . وهو - من هذه الناحية - يختلف عن الحيوان والنبات غير الأخضر اللذين يعتمدان في غذائهما على هذا النبات الأخضر أو بقاياه . وفي الحقيقة يعتبر النبات الأخضر أساس التكوين العضوي على الأرض ولا يشاركه في ذلك غير أنواع قليلة من البكتيريا ، وكثير منها لا يقوم بهذا العمل إلا إذا خلت بيئتها المباشرة من المواد العضوية .

وأهم ما يبنيه النبات من المركبات المعقدة المواد الكربوهيدراتية والبروتينية والدهنية التي تكون غذاءه الأساسي ، وقد تكون بعض المواد الأخرى كالأحماض العضوية والجليكوسيدات وبعض الأصباغ جانباً ضئيلاً من هذا الغذاء . وتؤدي تلك المواد الغذائية وظيفتين ، فهي مصدر للطاقة اللازمة لسائر العمليات الحيوية ، كما أنها تستخدم في بناء البروتوبلازم والأصباغ والإنزيمات وغيرها من المركبات الخلوية .

وبالإضافة إلى المواد الكربوهيدراتية والدهنية والبروتينية ، التي تستخدم بكميات كبيرة ، توجد مركبات عضوية خاصة يحتاج الكائن الحي منها إلى كميات ضئيلة جداً ، ومن أمثلتها الفيتامينات وهرمونات النمو ، وهذه المواد لا تستخدم في الحصول على الطاقة ولكنها لازمة لإتمام تحولات غذائية خاصة .

وقد أظهر التحليل الكيميائي أن عناصر معينة تدخل في تركيب المركبات التي يتكون منها جسم النبات ، وهذه العناصر هي : الكربون والإيدروجين

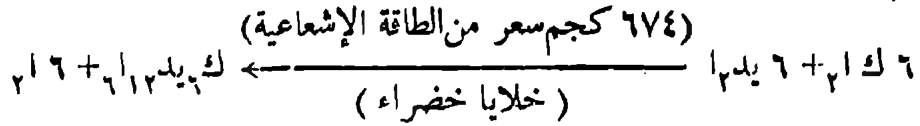
والأكسجين والنيتروجين والكبريت والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والماغنسيوم والحديد والبورون والمنجنيز والزنك والنحاس وغيرها ، وجميعها لازمة لغذاء النبات واكتمال نموه . ويحصل النبات على عنصر الكربون من الجو المحيط به في صورة غاز ثاني أكسيد الكربون ، وذلك بواسطة أجزائه الهوائية ، أما العناصر الأخرى فيحصل عليها في صورة مركبات بسيطة يمتصها من التربة عن طريق جذوره .

وتعرف العمليات التي تؤدي إلى بناء المركبات المعقدة الغنية بالطاقة من المواد الأولية بعمليات الأيض البنائي (Anabolism) وهي ليست كل ما يحدث في النبات من عمليات بل تحدث إلى جوارها عمليات أيض هدمي (Katabolism) تنطلق في أثناءها الطاقة الكامنة في المركبات المعقدة نتيجة تفككها إلى مكوناتها البسيطة ، وأهم عمليات البناء التي تتم في النبات الأخضر هي تلك التي تستخدم فيها الطاقة الشمسية وتكون في أثناءها المواد الكربوهيدراتية ، وتعرف « بالبناء الضوئي » . أما أهم عمليات الهدم فهي عملية « التنفس » التي تعتبر إحدى خصائص الخلايا الحية ، وقد تناولناها بالتفصيل في الباب السابق . ويعبر عن مجموعة عمليات الأيض البنائي والهدمي التي تتم داخل الخلية الحية « بالتحويل الغذائي أو الأيض » (Metabolism) ، ويكون التوازن بينهما عادة في صالح البناء في أثناء نمو النبات .

ماهية البناء الضوئي :

تشمل عملية البناء الضوئي (Photosynthesis) — التي تتميز بها النباتات الخضراء دون غيرها من الكائنات الحية — على امتصاص الطاقة الضوئية بواسطة صبغها الأخضر (الكلوروفيل) وتحويلها إلى طاقة كيميائية تستغلها في بناء مواد كربوهيدراتية خاصة من الماء وثاني أكسيد الكربون ، وينطلق الأكسجين في أثناء هذه العملية . ويحصل النبات على الماء من التربة ، أما ثاني أكسيد الكربون فيأخذه من الهواء الجوي . ويطلق على هذه العملية أحياناً

اسم « التمثيل الكربوني » (Carbon assimilation) ، نظراً لما تنطوي عليه من استعمال الكربون في تمثيل المواد الكربوهيدراتية ويعبر عنها عادة بالمعادلة الآتية :



أى أن تكون جزء من سكر سداسى (سكر هكسوز ك ٦ يد ١,٢) يتطلب ستة جزيئات من ثانى أكسيد الكربون وستة جزيئات من الماء وامتصاص كمية من الطاقة تبلغ ٦٧٤ كجم سعر ، وهى نفسها التى تنطلق عندما يتفكك هذا الجزيء فى أثناء عملية التنفس ليستفيد منها النبات فى سائر عملياته .

ومما تجدر الإشارة إليه أن المعادلة السابقة لا توضح آلية عملية البناء الضوئى ، ولكنها تعد بمثابة تعبير رمزى عن التغيرات النهائية لها . ورغم أنه من المتفق عليه التعبير عن المادة الكربوهيدراتية المتكونة بسكر سداسى إلا أنه — كما سرى فى نهاية هذا الباب — ليس الناتج الأول للعملية ، كذلك يعتبر ما أثبتته الأبحاث الأخيرة من ضرورة اشتراك إثني عشر جزيئاً من الماء فى التفاعل ، وخروج ستة جزيئات منه غير أساسى فى التعبير العام عن عملية البناء ، ولكنه جوهرى فى تبين آلية التفاعل ، كما سيتضح فيما بعد .

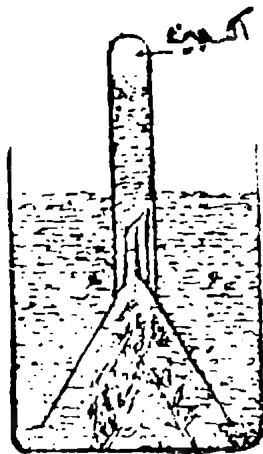
ولما كانت أهمية البناء الضوئى ليست مقصورة على النباتات فحسب بل هى فى الحقيقة أساس وجودنا ، فقد قدر بعض الباحثين كمية الكربون التى تثبتها النباتات الخضراء سنوياً بمقدار (١٠,٨ × ١٠١٠) طناً من الكربون ، وتعاادل هذه القيمة (٢٧ × ١٠١٠) طناً من الجلو كوز ، أو (٣٩,٦ × ١٠١٠) من ثانى أكسيد الكربون ، تقوم النباتات البحرية بتمثيل ٨٥٪ منها تقريباً .

وفى النباتات الراقية تم غالبية البناء الضوئى فى أوراقها الخضراء ، التى تتركب بطريقة تجعلها قادرة على القيام بهذه الوظيفة على الوجه الأكمل .

فسطوحها المنبسطة الكبيرة - بالنسبة لحجمها - تعرض قدر أكبر من خلاياها الخضراء لأشعة الشمس ، كذلك تسهل المسافات البينية الواسعة التي تفصل بين خلاياها انتشار ثاني أكسيد الكربون خلال أنسجة الورقة ووصوله إلى كل خلية ، ومن ثم يزيد السطح الماص لثاني أكسيد الكربون زيادة كبيرة ، ومعظم ثاني أكسيد الكربون الذي تمتصه خلايا النسيج الوسطى من المسافات البينية يدخل إليها عن طريق الثغور ، فعندما تكون الثغور مفتوحة يدخل ثاني أكسيد الكربون وينتشر في المسافات البينية ، وحينما يذوب في الماء المشبع لجدر خلايا النسيج الوسطى يتفاعل جزء منه مع الماء مكوناً حمض الكربونيك (يدمك ام) ، ويصل بعد ذلك إلى البلاستيدة الخضراء على هذه الصورة أو على صورة ذائبة .

ويمكن الاستدلال على قيام عملية البناء الضوئي في النباتات الخضراء باستعمال نبات مائي كالإلوديا ، فإذا وضعت قطعة من هذا النبات في ماء مذاب به ثاني أكسيد الكربون أو بيكربونات البوتاسيوم وعرضت لضوء الشمس شوهدت فقاعات غازية تتصاعد من سطح القطع (شكل ٣٦٦) . فإذا جمعت هذه الفقاعات وكشف عنها تبين أنها أكسجيناً . كذلك يمكن الاستدلال على

(شكل ٣٦٦)



تكوين مادة كربوهيدراتية كنتيجة لعملية البناء الضوئي بتعريض نبات أخضر للضوء بعد أن يترك في الظلام مدة حتى تخلو أوراقه من النشا ، فإذا أجرى على إحدى أوراق هذا النبات كشف النشا بواسطة محلول اليود فإنها تتلون باللون الأزرق الدال على وجود النشا .

طرق تقدير سرعة البناء الضوئي :

تستعمل لتقدير سرعة البناء الضوئي طرق

مختلفة تنطوي على تقدير كمية ثاني أكسيد

الكربون الممتص أو الأكسجين المتصاعد أو

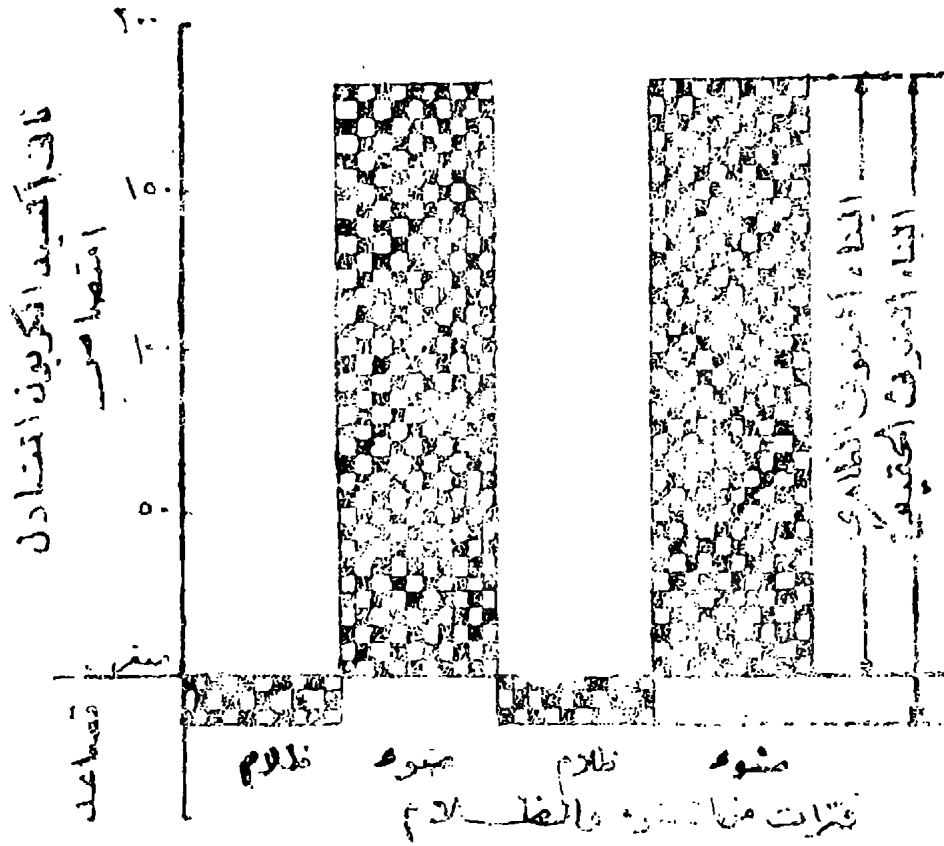
المادة الكربوهيدراتية الناتجة من العملية . غير

تجميع الأكسجين المتصاعد من
النبات المائي (الإلوديا) في أنبوبة
معملية البناء الضوئي

أن هذه الطرق تتعرض لخطأ استمرار التنفس في الأنسجة أثناء قيامها بعملية البناء الضوئي ، فالتبادل الغازي الذي يصحب التنفس هو عكس ذلك الذي يصحب البناء الضوئي ، كما أن التنفس يؤدي إلى استهلاك المواد الكربوهيدراتية المتكونة ومن ثم إلى نقص الوزن الجاف . وعلى ذلك فالقيمة المقدرة للبناء الضوئي بأية طريقة تبنى على الأسس السابقة تكون أقل من قيمته الحقيقية ، ويطلق على هذه القيمة البناء الضوئي الظاهري (Apparent photosynthesis) فإذا أضيف إليها قيمة الخطأ الناشئ عن التنفس فإننا نحصل بذلك على قيمة البناء الضوئي الحقيقي (Real photosynthesis) . ولما كانت سرعة البناء الضوئي تصل في كثير من الأنسجة إلى عشرة أمثال سرعة التنفس أو أكثر ، فإن البناء الضوئي الظاهري لا يقل كثيراً عن قيمته الحقيقية ، غير أنه إذا أريد تقدير القيمة الحقيقية للبناء الضوئي فإن النبات أو العضو النباتي يحجب عن الضوء مدة معينة يقاس فيها مقدار تنفسه ثم تضاف هذه القيمة إلى البناء الضوئي الظاهري في مدة مماثلة (شكل ٣٦٧) ، وهذا التصحيح في حد ذاته تعوزه الدقة ، فسرعة تنفس الأنسجة الخضراء في الضوء تختلف عنها في الظلام ، ففي الضوء يؤدي البناء الضوئي إلى زيادة المحتوى الكربوهيدراتي ، وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة سرعة التنفس .

وعند تقدير سرعة البناء الضوئي الظاهري بطريقة التبادل الغازي يوضع النبات أو الجزء النباتي في وعاء من الزجاج أو السيلوفين لا يمنع مرور الضوء إلى النبات ، ثم يمرر على النبات تيار مستمر من الهواء يحلل عند خروجه لمعرفة نسبة ثاني أكسيد الكربون أو الأكسجين فيه بالمقارنة بنسبتهما في الهواء الجوي ، وبذلك يمكن قياس سرعة البناء الضوئي . ولما كانت نسبة الأكسجين في الهواء الجوي عالية فإن الزيادة في كميته الناتجة عن البناء الضوئي لن تكون بالدرجة التي يسهل تقديرها ، ولذلك فإن هذه الطريقة تعتمد على تقدير ثاني أكسيد الكربون المستهلك . ويتبع في تقدير ما يستهلك من هذا الغاز طرق مختلفة ، تعتمد إحداها على إمرار الهواء عند خروجه من الوعاء الذي يحوي

(شكل ٣٦٧)



شكل يوضح أن ما يمتص من ثاني أكسيد الكربون في البناء الضوئي الظاهري يقل عن الكمية الكلية للحمض المتصاعد من هذا النور أثناء النهار.

النبات في حجم معين من محلول قياسي لإيدروكسيد الصوديوم أو البوتاسيوم حيث يمتص ثاني أكسيد الكربون ، ثم بمعادلة القلوي المتبقى بعد فترة معينة يمكن تقدير ما يحتويه الهواء من هذا الغاز . وقد استعمل بعض الباحثين في تقديرهم لكمية ثاني أكسيد الكربون المستهلكة طريقة التغير في التوصيل الكهربائي ، وذلك بأن يمرر في محلول قلوي هواء يحتوي على كميات مختلفة من الغاز ويرصد الانحراف الجلفانومتري في كل حالة ، وعندما تجرى التجربة ويرصد الانحراف يمكن تعيين كمية ثاني أكسيد الكربون المستهلك من العلاقة السابقة .

ومعظم الدراسة التي أجريت على البناء الضوئي لم تستعمل فيها النباتات الراقية بل استعملت فيها مزارع الطحالب الخضراء وحيدة الخلية ، وخاصة

طحلب الكلوريللا (Chlorella) ، وتستخدم في تقدير البناء الضوئي لهذه الطحالب طريقة مانومترية دقيقة ، استعملها فاربورج (Warburg) وغيره من الباحثين ، وفيها يوضع معلق الطحلب في محلول من البيكربونات في دورق زجاجي صغير يحكم على فوهته مانومتر ذو ساقين (شكل ٣٥٩) . وفي أثناء البناء الضوئي يمتص الطحلب ثاني أكسيد الكربون من البيكربونات ويتصاعد الأكسجين الذي يمكن تقدير حجمه من تغير الضغط داخل المانومتر .

أما تقدير سرعة البناء الضوئي بتعيين الزيادة في الوزن الجاف للأوراق بعد فترة من تعرضها للضوء فهي طريقة تقريبية أدخلها ساكس عام ١٨٦٠ ، وتعتمد على تعيين الوزن الجاف للورقة أو لمساحات معينة منها عند بدء التجربة ثم تعيين الوزن الجاف لمساحات مماثلة في نهاية التجربة ، فيكون الفرق بين الوزنين هو قيمة الزيادة الناشئة عن البناء الضوئي . والخطأ في هذه الطريقة ليس مرجعه إلى التنفس الذي يستهلك جزءاً من نواتج البناء فحسب ، وإنما مرجعه كذلك إلى انتقال هذه النواتج من الورقة في أثناء فترة التجربة .

الكلوروفيل ، تركيبه وتكوينه وخواصه :

يعتبر اليخضور أو الكلوروفيل (Chlorophyll) عاملاً أساسياً في عملية البناء الضوئي ، فهو بامتصاصه للطاقة الضوئية يدفع الخلايا الحية إلى بناء المواد الكربوهيدراتية . ويوجد الكلوروفيل في الخلية محمولا على أجسام البلاستيدات الخضراء ، ويمكن إستخلاصه من الأوراق الخضراء بأحد المذيبات العضوية كالإثير أو الأسيتون ، إذ أنه لا يذوب في الماء . ومن الممكن أن يستخلص الكلوروفيل من الأوراق بغليها في الكحول الإيثيلي ، إلا أن هذه الطريقة غير مرغوب فيها وذلك لحدوث تفاعل بين جزيئات الكلوروفيل والكحول يؤدي إلى تكون كلوروفيليد إيثيلي يختلف عن الكلوروفيل الحقيقي . والكلوروفيل المستخلص من الأوراق يكون مرتبطاً مع البروتين ، وهو لا يؤدي وظيفته البنائية إلا وهو على هذه الصورة (جريجوري ومرافقوه ، ١٩٧١) .

وترجع تسمية المادة الخضراء بالكلوروفيل إلى أوائل القرن التاسع عشر ،
غير أن الدراسة الصحيحة لخواصه الكيميائية والفيزيائية لم تبدأ إلا عام ١٩٠٦
نتيجة للأبحاث التي قام بها فيلشتاتر (Willstatter) ومساعدوه . فقد اتضح
من هذه الأبحاث أن الكلوروفيل ليس مادة واحدة ، بل خليطاً من أربع
مواد على الأقل ، اثنتان منها خضراوان أطلق عليهما اسم كلوروفيل « ا »
(Chlorophyll a) وهو أخضر مشرب بزرقة ، وكلوروفيل « ب »
(Chlorophyll b) وهو أخضر مشرب بصفرة وكلاهما موجود في
البلاستيدات الخضراء بنسبة ٣ : ١ تقريباً ، واثنتان صفراوان هما الكاروتين
(Carotene) والزانثوفيل (Xanthophyll) ، ووضعت لهذه المواد الأربع
الرموز الكيميائية الآتية : —

كلوروفيل « ا »	(ك.ه. يد. ٧٢ ا. ن. ما)
كلوروفيل « ب »	(ك.ه. يد. ٧٠ ا. ن. ما)
الكاروتين	(ك.ه. يد. ٥٦)
الزانثوفيل	(ك.ه. يد. ٢١)

وعلى حين لا يوجد الكلوروفيلان « ا » و « ب » منفصلين عن المادة
الخضراء في النبات ، فإن صبغى الكاروتين والزانثوفيل يوجدان على انفراد
في كثير من النباتات . فالكاروتين مثلاً يوجد في جذور الجزر ويكسبها لوناً
برتقالياً ، كذلك يوجد الزانثوفيل في بتلات كثير من الأزهار .

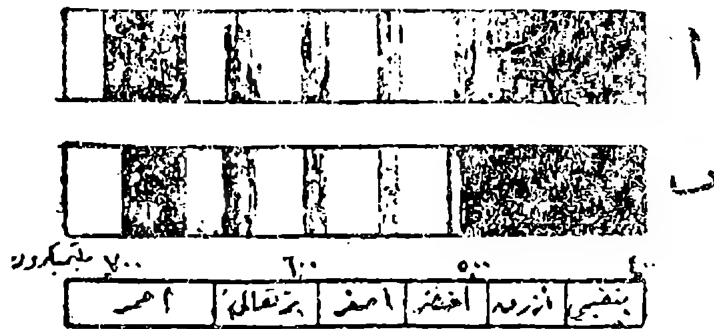
والكلوروفيل — وخاصة كلوروفيل « ا » هو مادة الامتصاص الرئيسية
للضوء ، وهو الذى يبدأ تفاعلات البناء الضوئى . والأصبغ الكاروتينية لها
نفس كفاءة الكلوروفيل في امتصاصها للضوء ، ويبدو أن لها دورين رئيسيين
في البناء الضوئى هما : —

- ١ — الضوء الذى يمتصه صبغ بيتا كاروتين ينتقل كله إلى الكلوروفيل .
- ٢ — الحيلولة دون التأكسد الضوئى للكلوروفيل وخاصة في الضوء الساطع

ويتميز الكلوروفيل - كغيره من الأصباغ - بامتصاصه لموجات معينة من الطيف المنظور ، فإذا ما توسط محلول الكلوروفيل مصدر أبيض للضوء وجهاز الاسبيكتروسكوب ظهر أن الأشعة في المنطقة الحمراء والزرقاء البنفسجية تكاد تكون ممتصة امتصاصاً كاملاً ، ولذلك تبدو هاتان المنطقتان في الطيف الامتصاصي مظلمتين (شكل ٣٦٨) ، أما الأشعة في المنطقة الصفراء والخضراء فقد نفذت خلال المحلول دون أن يمتص منها قدر يذكر ، ومن ثم كان اللون الأخضر المميز لمحلول الكلوروفيل حين يمر فيه ضوء أبيض . والطيف الامتصاصي للكلوروفيل وهو في المحلول لا ينطبق تمام الانطباق على طيف الورقة الحية ، إذ يزيد عادة امتصاص الورقة للضوء من المناطق التي يكون امتصاص المحاليل منها عالياً . ومرد ذلك إلى أن الصبغ يوجد في الورقة مركزاً على البلاستيدات فقط وليس منتشراً كما هو الحال في المحلول بحيث قد يمتزج الورقة بعض الضوء دون أن يصادف في طريقه أى صبغ ، كذلك يختلف تركيز الصبغ عادة في الورقة عنه في المحلول .

وتختلف نسب الأصباغ المكونة للكلوروفيل في الحماض النباتية المختلفة ، ففي الأوراق الخضراء يبلغ متوسط هذه النسب إلى وزن الورقة الرطب ٠,٢٪ كلوروفيل « أ » ، ٠,٠٧٥٪ كلوروفيل « ب » ، ٠,٠١٧٪ كاروتين ، ٠,٠٣٪

(شكل ٣٦٨)



رسم تخطيطي يوضح الطيف الامتصاصي لمحلول الكلوروفيل القوي (أ) ، والورقة الحية (ب) . وفي أسفل توضيح لطاقات الطيف المنظور وأطوال موجاتها (أ ، ب) . (من بيلتار و - سول)

زانثوفيل ، وفي الطحالب البنية لا يوجد كلوروفيل «ب» بينما يكون كلوروفيل «ا» ٩٧٪ من المادة الخضراء ، أما لونها البني فيعزى لوجود صبغ كاروتيني ثالث—بالإضافة إلى الكاروتين والزانثوفيل—هو الفيوكوزانثين (Fucoxanthin) وفي الطحالب الحمراء يوجد إلى جانب الأصباغ الخضراء والصفراء صبغ أحمر هو الفيكوإريثرين (Phycoerythrin) وقد سبق ذكر ذلك في باب الطحالب .

ومعظم النباتات إذا نمت بعيداً عن الضوء تكون خالية من الكلوروفيل ولذلك تبدو البادرات التي تنمو في الظلام بيضاء أو صفراء (لوجود بعض الأصباغ الكاروتينية) ، وحين تعرض هذه البادرات للضوء فإنها سرعان ما تكتسب اللون الأخضر . وتفسير ذلك أن البادرات النامية في الظلام تحتوي على كميات ضئيلة من مادة وثيقة الاتصال بالكلوروفيل — يطلق عليها اسم الكلوروفيل الأولى (Protochlorophyll) تتحول إلى الكلوروفيل بمجرد تعرض البادرات للشمس ، ويضطرب بعد ذلك تكون هذه المادة الأولية وتحويلها إلى الكلوروفيل . ومعنى هذا أن الكلوروفيل يتكون على مرحلتين ، الأولى لا تستلزم وجود الضوء ولكن الثانية تتطلب وجوده كشرط أساسي لإتمامها كما يتضح مما يلي :

خطوات تتم في الضوء
أو الظلام
←————← كلوروفيل أولى ←————← كلوروفيل (الضوء)

ويتأثر تكون الكلوروفيل بعوامل أخرى غير الضوء ، فغياب عنصر الماغنيسيوم — الذي يدخل في تركيب جزيئه — من الوسط الذي يعيش فيه النبات يحول دون تكون المادة الخضراء وعلى ذلك تظهر الأوراق شاحبة اللون ، وتعرف تلك الظاهرة بالشحوب اليخضوري (Chlorosis) ، وذلك تمييزاً له عن الشحوب الناتج عن غياب الضوء والمعروف بالشحوب الظلامي (Etiolation) ، وكذلك يؤدي غياب عنصر النيتروجين أو الحديد أو المنجنيز إلى شحوب الأوراق ، ولو أن الأعراض تختلف في كل حالة عنها

في الأخرى . والدليل على أهمية هذه العناصر في تكون الكلوروفيل هو أن إضافة العنصر الناقص إلى مزرعة النبات تؤدي إلى عودة اللون الأخضر في الأوراق . ويلاحظ أن تكون الكلوروفيل مدى ضيق نسبياً من درجات الحرارة ، فالبادرات التي نمت لفترة في الظلام ثم عرضت للضوء يتكون فيها الكلوروفيل سريعاً بين درجتى ١٨° ، ٣٠° م .

العوامل المحددة في البناء الضوئي :

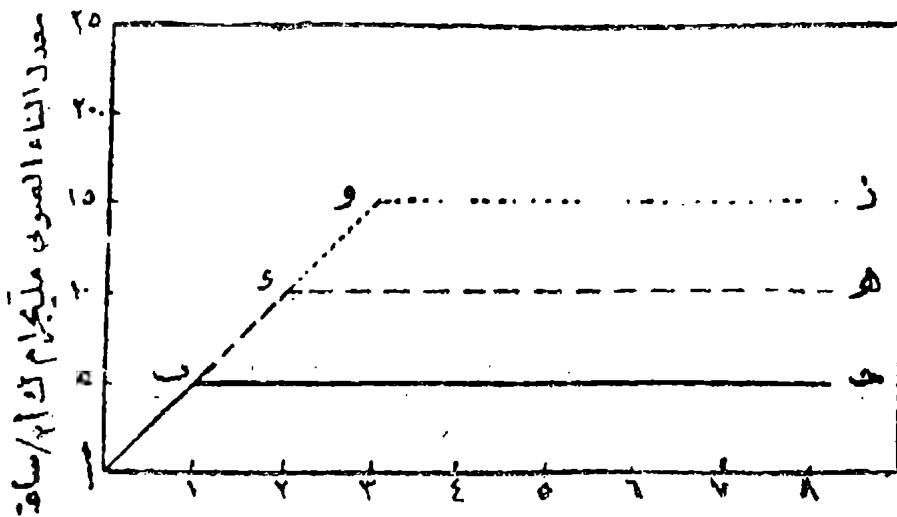
اتجه البحث عند دراسة تأثير العوامل المختلفة في سرعة البناء الضوئي إلى تحديد القيمة الصغرى (Minimum) ، والمثلى (Optimum) ، والقصى (Maximum) لكل عامل على حدة ، فعند دراسة تأثير درجة الحرارة مثلاً في البناء الضوئي أمكن تمييز درجة حرارة صغرى تقف العملية إذا انخفضت درجة الحرارة عنها ، ودرجة مثلى تصل عندها سرعة العملية إلى ذروتها ، ودرجة قصوى لا يستمر البناء الضوئي بعدها . وقد لوحظ أن القيمة المثلى للعامل ليست ثابتة بل تتغير ، ليس فقط من نبات إلى نبات بل وعلى حسب تغير العوامل الأخرى . فالقيمة المثلى لتركيز ثاني أكسيد الكربون تزداد بزيادة شدة الإضاءة ، كما أن درجة الحرارة المثلى تتغير بتغير شدة الإضاءة وهكذا . نستخلص من ذلك أنه عند تحديد القيمة المثلى للعامل المؤثر في البناء الضوئي يجب ألا تغفل العوامل الأخرى المؤثرة .

وقد حاول بلاكمان (Blackman) - عام ١٩٠٥ - أن يزيل الغموض الذي يكتنف تأثير العوامل المختلفة في البناء الضوئي فوضع نظريته المعروفة « بنظرية العوامل المحددة » (Theory of Limiting Factors) ومنطوقها : « عندما تتوقف سرعة عملية على عدد من العوامل غير المرتبطة ، فإن سرعة تلك العملية تتحدد بأبطأ هذه العوامل سرعة » . ولتفسير هذه النظرية نفرض أن ورقة نباتية تعرضت لدرجة من الإضاءة تسمح باستهلاك ٥ مليجرام من ثاني أكسيد الكربون في مدة ساعة . فإذا كان ما يدخل الورقة من ثاني أكسيد

الكربون هو المليجرام واحد في الساعة فإنه يستهلك في البناء الضوئي نظراً لتوفر الطاقة الضوئية . وعندما تزداد كمية الغاز الداخلة في الورقة فإن سرعة العملية ستأخذ في الازدياد إلى أن يبلغ ما يستهلك منه ٥ ملليجرامات في الساعة ، وأية زيادة بعد ذلك في كمية الغاز لن تصحبها زيادة في سرعة العملية وذلك لأن الضوء المعرض له الورقة لا يسمح باستهلاك مقدار جديد من الغاز . عندئذ تكون شدة الإضاءة هي العامل المحدد للعملية ، ولا تؤدي زيادة كمية ثاني أكسيد الكربون إلى تغير في سرعة العملية إلا بزيادة شدة الإضاءة . هذا التداخل بين العاملين يتمثل في المنحنى ا ب ج من الرسم البياني (شكل ٣٦٩) الذي وضعه بلا كمان لتوضيح نظريته . فعلى طول الجزء (ا ب) من هذا المنحنى تضطرد الزيادة في سرعة العملية بزيادة العامل المحدد وهو هنا ثاني أكسيد الكربون .

وعند النقطة (ب) تقف الزيادة في سرعة البناء الضوئي فجأة ويستمر معدلها ثابتاً على طول الجزء (ب ج) من المنحنى وذلك لأن العملية أصبحت محدودة بعامل آخر هو الضوء . مما سبق يتبين أنه عندما تكون سرعة البناء

(شكل ٣٦٩)



تركيز ثاني أكسيد الكربون النسبي

رسم تخطيطي لتوضيح نظرية العوامل المحددة كما هو مأخوذ من بلا كمان

الضوئي محددة بواحد من مجموعة العوامل المؤثرة فيها فإن تغير هذا العامل بمفرده إلى حالة أكثر ملاءمة للعملية يؤدي إلى زيادة في سرعتها .

وإذا تضاعفت شدة الإضاءة بحيث تسمح للورقة باستهلاك ١٠ مليجرامات من ثاني أكسيد الكربون في الساعة فإن معدل البناء الضوئي يزداد بزيادة تركيز هذا الغاز حتى يصل إلى ضعف المعدل السابق للعملية عندما كان الضوء ضعيفاً ، وذلك كما يتضح من المنحنى (ا د ه) . وبالمثل إذا زادت شدة الإضاءة إلى ثلاثة أمثال ما كانت عليه أولاً فإن معدل البناء يزداد بزيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون كما يتبين من المنحنى (ا و ز) .

العوامل التي تؤثر في سرعة البناء الضوئي :

تؤثر في عملية البناء الضوئي عدة عوامل بعضها خارجية وأهمها :

- ١ - تركيز ثاني أكسيد الكربون
- ٢ - شدة الإضاءة .
- ٣ - درجة الحرارة .
- ٤ - الماء .

وبعضها الآخر داخلية وأهمها :

- ١ - الكلوروفيل .
- ٢ - العامل البروتوبلازمي .
- ٣ - تراكم نواتج البناء الضوئي .

العوامل الخارجية :

١ - تركيز ثاني أكسيد الكربون : يحتوي الهواء الجوي على نسبة ضئيلة من ثاني أكسيد الكربون تبلغ ٠,٠٣ ٪ بالحجم ، ولذلك فمن المحتمل أن يكون تركيز هذا الغاز هو العامل المحدد لعملية البناء الضوئي في معظم الأحيان . ويمكن القول عموماً أن زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون ، بحد أدنى قدره ٠,٠٣ ٪ - ١ ٪ ، يؤدي إلى زيادة سرعة البناء الضوئي ما لم يحدد أحد العوامل الأخرى (كالضوء) سرعة العملية . وإذا زاد تركيز ثاني أكسيد الكربون إلى درجة عالية نسبياً انخفضت سرعة البناء الضوئي ، ويختلف

تركيز الغاز الذي يبدأ عنده انخفاض سرعة العملية باختلاف نوع النبات ودرجة نمو أنسجة النبات وطول فترة تعرضها لهذا الغاز ، وغير ذلك من العوامل الجوية الأخرى ، وقد يصل هذا التركيز في بعض النباتات إلى ٢٠ ٪ . ويعزى تأثير هذه التركيزات العالية إلى مفعولها السام في البروتوبلازم ، كذلك إلى كونها قد تسبب انغلاق الثغور ، وحينئذ ينخفض تركيز ثاني أكسيد الكربون حول الخلايا التي تقوم بالبناء الضوئي ، ومن ثم تتناقص سرعة العملية .

وتستهلك النباتات الأرضية في كل عام نسبة عالية من ثاني أكسيد الكربون تبلغ ١/٣ من كميته الموجودة في الجو ، لذلك يتحتم لكي تستمر الحياة على الأرض أن يتجدد هذا الغاز باستمرار . ويتم ذلك بما يتصاعد منه في أثناء تنفس النباتات والحيوانات ومن عمليات تعفن وانحلال المواد الكربونية ومن عمليات الاحتراق الأخرى وما يتصاعد منه من فوهات البراكين .

أما النباتات المائية الخضراء فإنها تستمد ما يلزمها من ثاني أكسيد الكربون مما يوجد منه في بيئتها المائية على صورة ذائبة أو على هيئة كربونات أو بيكربونات ينتج عن تحللها تصاعد هذا الغاز .

٢ - شدة الإضاءة : لما كان الضوء هو المصدر الوحيد للطاقة اللازمة لعملية البناء الضوئي فقد أصبح من الواضح أن شدة الإضاءة ومدة تعرض النبات للضوء لهما تأثير على سرعة تلك العملية . وتأثير شدة الإضاءة في البناء الضوئي تشبه إلى حد كبير تأثير تركيز ثاني أكسيد الكربون ، فعندما تكون شدة الإضاءة منخفضة فإن سرعة البناء الضوئي تتناسب طردياً مع الزيادة في شدة الإضاءة ولكن في الدرجات العالية من الإضاءة لا تكون الزيادة في سرعة البناء الضوئي بنفس النسبة التي تزداد بها شدة الضوء ، كما هو الحال في الدرجات المنخفضة ، وذلك بسبب الفعل المحدد للعوامل الأخرى .

وفي التركيزات العادية لثاني أكسيد الكربون يبلغ البناء الضوئي درجته القصوى عندما تتعرض الأوراق لدرجات من الإضاءة أقل بكثير من ضوء

الشمس في أقصى شدته . ففي أوراق القطن والتفاح وعباد الشمس وغيرها يصل البناء الضوئي إلى أقصاه عندما تبلغ شدة الإضاءة $\frac{1}{4}$ إلى $\frac{1}{2}$ ضوء الشمس الكامل . وتقل عن ذلك كثيراً بالنسبة لنباتات الظل . على أننا نجب أن نشير هنا إلى أن هذه التقديرات بنيت على أساس الورقة المنفردة ، غير أنه في النباتات الكاملة يختلف الأمر عن ذلك كثيراً . ففي نبات التفاح يزداد البناء الضوئي بزيادة شدة الضوء حتى تصل إلى ما يقرب من قوة ضوء الشمس تقريباً ، وذلك لأن الأوراق في النبات الكامل يظل بعضها بعضاً ، فلا يكاد يصل إليها من ضوء الشمس غير ١ ٪ مما تتعرض له الأوراق الخارجية المكشوفة . ومما تجدر الإشارة إليه أن ضوء الشمس عند ظهيرة يوم مشمس يعادل من ٨,٠٠٠ إلى ١٠,٠٠٠ شمعة قديمة .

وإذا زادت شدة الإضاءة بدرجة كبيرة أو استمر تعرض النبات للضوء العادي مدة طويلة فإن ذلك يؤدي إلى انخفاض نشاط البناء الضوئي . فمثلاً عندما عرضت أوراق نبات الفول لإضاءة مقدارها ٦٨٠٠ شمعة قديمة تكونت بها كميات كبيرة من النشا ، ولكن عند تعريض هذه الأوراق لضعف الإضاءة السابقة كانت كمية النشا المتكونة أقل . وقد أطلق على هذه الظاهرة اسم تأثير التشميس (Solarization effect) ، وقد يكون سبب هذه الظاهرة هو التلف الذي يصيب المادة الخضراء وغيرها من محتويات الخلية .

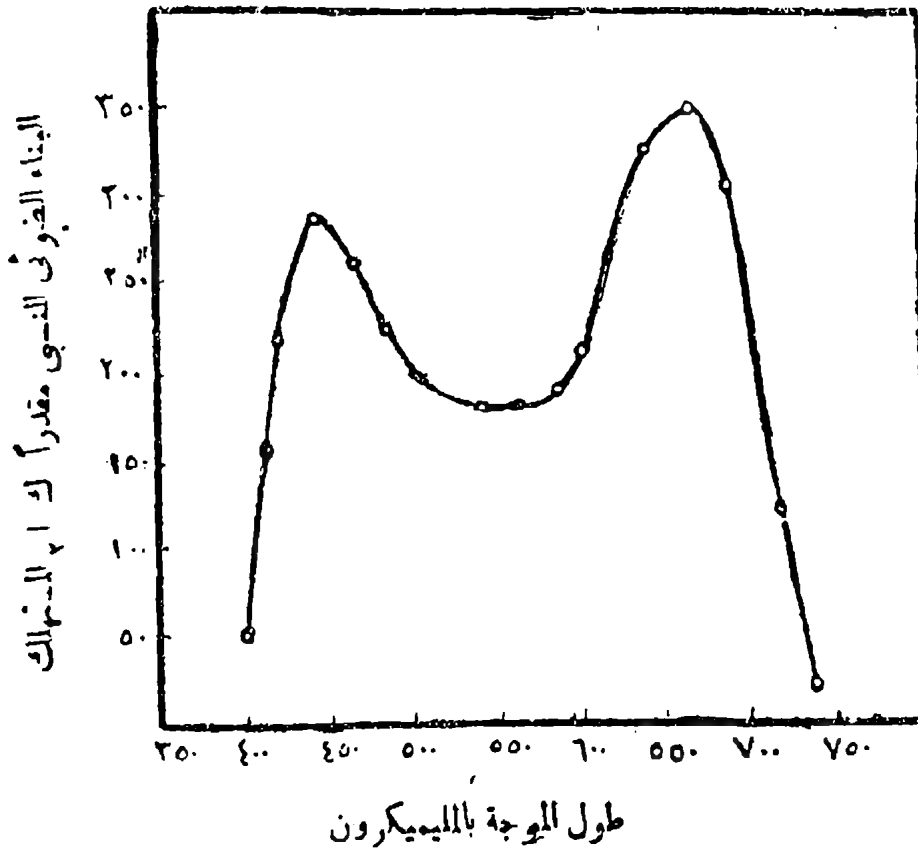
وفي درجات الإضاءة العادية تكون محصلة التبادل الغازي لعملية البناء الضوئي والتنفس هي دخول ثاني أكسيد الكربون وخروج أكسجين ، وذلك لأن سرعة البناء الضوئي تفوق كثيراً سرعة التنفس في ساعات النهار ، فما يصدر عن التنفس من ثاني أكسيد كربون لا يكفي البناء الضوئي فيدخل الأنسجة الخضراء قدر من هذا الغاز من الجو المحيط ، وما ينتج من أكسجين عن البناء الضوئي يستهلك جزء منه في عميئة التنفس ، وينطلق الباقي خارج النبات . ولما كان الضوء هو العامل المحدد للبناء الضوئي في درجات الإضاءة المنخفضة فإنه عند شدة إضاءة معينة تكون سرعة البناء الضوئي في الأجزاء الخضراء

مساوية تماماً لسرعة التنفس ، ويكون التبادل الغازى بين النبات والجو المحيط به معدوماً . ويطلق على هذه الدرجة من الإضاءة اسم « نقطة التعويض » (Compensation point) ، وهى تختلف باختلاف النبات . وبديهي أن النبات لا يمكنه الحياة طويلاً تحت هذه الظروف ، فلن يكون هناك فائض من مواد البناء يستخدمه النبات فى بناء أنسجته وفى تنفسه أثناء الليل حين يتوقف البناء الضوئى .

أما بالنسبة لتأثير نوع الضوء أو طول الموجة فى عملية البناء الضوئى فقد تبين أن معدل العملية يتأثر بالأشعة ذات الأطوال الموجية التى تقع فى حدود الطيف المنظور (أى ما بين ٣٥٠ ، ٧٥٠ ملليميكرون) . ولما كانت المادة الخضراء تمتص الأضواء ذات الأطوال الموجية المختلفة بدرجة متفاوتة فمن المتوقع أن يكون أكثر ما تمتصه المادة الخضراء من هذه الأضواء هو أكبرها أثراً فى البناء الضوئى . والضوء الأحمر هو أكثر ما يمتص من ألوان الطيف ويليه الضوء الأزرق والبنفسجى ثم الضوء الأخضر والأصفر ، ولذلك يبلغ نشاط البناء الضوئى ذروته فى الضوء الأحمر (٦٥٥ ملليميكرون) ، ثم ينخفض بعد ذلك كلما قصر طول الموجة ، ولكنه يعود إلى الارتفاع ثانية فى منطقة الضوء الأزرق البنفسجى (٤٤٠ ملليميكرون) ، كما يرى فى شكل (٣٧٠) .

٣- درجة الحرارة: دلت البحوث الكثيرة التى أجرتها ماتاى (Matthaei) - عام ١٩٠٤ - والى استعملت فيها أوراق نباتات مختلفة على أن سرعة البناء الضوئى ، ما لم تكن محددة بأحد العوامل الأخرى ، تزداد بارتفاع درجة الحرارة من ٦° إلى ٣٧° م ، وأن ارتفاع درجة الحرارة عن هذا المدى يسبب الانخفاض السريع فى المعدل . ولا تظل النهاية القصوى للعملية بعد ٣٠° م ثابتة ، بل فى الحقيقة يصبح عامل الزمن مهماً بعد درجة ٢٥° م ، فينخفض معدل العملية بمرور الوقت ، وكلما كانت درجة الحرارة أعلى كان الانخفاض أسرع . وقد أيد كثير من الباحثين هذه النتائج التى توصلت إليها ماتاى وذلك

(شكل ٣٧٠)



المدل النسبي للبناء الضوئي في نبات القمح ، وذلك في درجات حرارية مختلفة الأطول
مساوية الشدة (عن هوفر ١٩٣٧) .

بالنسبة لأنواع أخرى من النباتات . ويعزى انخفاض معدل العملية مع الزمن
— وخاصة في درجات الحرارة المرتفعة — إلى بعض العوامل الداخلية التي
ربما يكون أهمها التأثير الإتلافي للحرارة على الإنزيمات وغيرها من مكونات
البروتوبلازم .

وما لم يكن ثاني أكسيد الكربون وشدة الإضاءة أو غيرها من العوامل
محددًا للعملية ، فإن الازدياد في معدل البناء الضوئي بين 10°C ، 25°C يكون
منتظمًا ، ويتبع قانون فانت هوف ، أي تتضاعف سرعة العملية تقريباً لكل
زيادة مقدارها 10°C (المعامل الحراري ≈ 2 تقريباً) . أما إذا كان الضوء
ضعيفاً بحيث تتوقف عليه سرعة العملية فإن ارتفاع درجة الحرارة يكاد

لا يؤثر في عملية البناء الضوئي ، ومن ثم يقترب المعامل الحرارى من الوحدة .

وحيث أن المعامل الحرارى للعملية عند وفرة الضوء وثانى أكسيد الكربون هو الخاص بالتفاعلات الكيميائية ، وأن المعامل الحرارى لها عندما يكون الضوء عاملاً محدداً هو الخاص بالتفاعلات الضوئية الكيميائية ، فإنه يمكن القول بأن عملية البناء الضوئي تشتمل على تفاعلين : أحدهما ضوئى كيميائى - هو الذى يحدد العملية عندما تكون شدة الإضاءة منخفضة - ومن ثم لا يكون لتغير درجة الحرارة تأثير يذكر ، أما الآخر فهو تفاعل كيميائى يمكن أن يحدث فى الظلام وتعتمد سرعته على درجة الحرارة . وهذا التفاعل هو الذى يحدد العملية عندما تكون شدة الإضاءة عالية وتركيز ثانى أكسيد الكربون كبيراً . ومما يثبت أن عملية البناء الضوئى تشتمل على تفاعل ضوئى كيميائى هو اعتمادها على الضوء فقط كمصدر للطاقة . أما التفاعل الكيميائى فقد أبدت أبحاث بلاكمان وجوده ولذلك كثيراً ما يطلق عليه « تفاعل بلاكمان » .

٤ - الماء : يستهلك النبات فى عملية البناء الضوئى أقل من ١٪ مما يمتصه من الماء ، وعلى ذلك فليس من المحتمل أن يؤدى نقص كمية الماء إلى أن يجعل منه عاملاً محدداً للعملية ، بل يكون تأثير الماء غير مباشر ، فالانخفاض فى معدل البناء الضوئى الذى يصحب النقص فى كمية الماء يعزى إلى أن ثانى أكسيد الكربون أصبح عاملاً محدداً وذلك لأن الثغور التى يمر خلالها ثانى أكسيد الكربون إلى داخل الورقة تنغلق جزئياً أو كلياً عندما تنقص كمية الماء فى الورقة ، وحتى لو لم تنغلق الثغور فإن الجدر الخلوية تضعف نفاديتها لثانى أكسيد الكربون .

العوامل الداخلية :

١ - الكلوروفيل : يعتبر الكلوروفيل (اليخضور) عاملاً أساسياً فى عملية البناء الضوئى ، فالأجزاء غير الخضراء فى الأوراق المرقشة لا تستطيع

القيام بعملية البناء التي تجري في الأجزاء الخضراء من الورقة ، وكذلك تبين أن الأكسجين الذي يتصاعد في أثناء العملية يخرج من البلاستيدات الخضراء مباشرة . وترجع أهمية الكلوروفيل (اليخضور) في البناء الضوئي إلى قدرته على امتصاص الطاقة الضوئية اللازمة لدفع العملية .

ولما كانت كمية الكلوروفيل في الأوراق تختلف اختلافاً كبيراً فقد أصبح من العسير إيجاد علاقة بين المحتوى الكلوروفيلي وسرعة البناء الضوئي . وأهم دراسة لتلك العلاقة هي التي قام بها العالمان فيلشتاتر وستول (Willstätter & Stoll) عام ١٩١٨ واستخدما فيها الأنواع ذوات الأوراق الخضر العادية أي الغنية بالكلوروفيل (١٦,٢ ملليجرام كلوروفيل / ١٠ جرام من الأوراق الغضة) والأنواع ذوات الأوراق الصفراء المخضرة أي الفقيرة في الكلوروفيل (١,٢ ملليجرام كلوروفيل / ١٠ جم من الأوراق الغضة) لجنس النشم (Ulmus) وعندما أجريا تجاربهما في ظروف لا تجعل من أحد العوامل الخارجية (الضوء وثاني أكسيد الكربون) عاملاً محدداً لعملية البناء الضوئي وجدوا أن معدل البناء في الأوراق الخضراء لا يزيد كثيراً على معدله في الأنواع ذوات الأوراق الصفراء رغماً عما تحتويه الأوراق الخضراء من نسبة عالية من الكلوروفيل . وقد أجريت في هذا السبيل تجارب أخرى كثيرة تبين منها عدم وجود علاقة مباشرة بين المحتوى الكلوروفيلي وعملية البناء الضوئي في أوراق النباتات الرقيقة . يستخلص من ذلك أن المحتوى الكلوروفيلي في مثل هذه النباتات يندر أن يكون عاملاً محدداً ، حتى ولو كانت كل العوامل الخارجية ملائمة لقيام العملية بل يبدو أنه توجد عوامل داخلية أخرى غير الكلوروفيل ، وهذه العوامل هي التي تحدد العملية .

٢ - العامل البروتوبلازمي : دلت أبحاث بريجز (Briggs) عام ١٩٢٢ على أن نشاط عملية البناء الضوئي في بادرات بعض النباتات - كعباد الشمس والقرع - يبدأ بمجرد تكون المادة الخضراء . وفي بادرات نباتات أخرى - كالفاصوليا والخروع والذرة - يتأخر البناء الضوئي بعض الوقت رغم احتواء البادرات على كمية كبيرة من الكلوروفيل . يظهر من ذلك أن هناك عاملاً

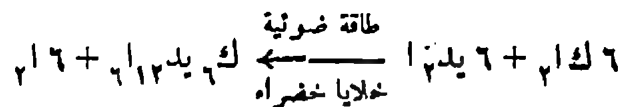
داخلياً آخر غير الكلوروفيل لا يتوفر وجوده في الأدوار الأولى للإنبات ،
وحين تبلغ البادرات عمراً معيناً يكون هذا العامل الداخلي قد توفر وجوده .
ومما يؤيد هذا الرأي أن البادرات التي تخضر في أطوار الإنبات الأخيرة تقوم
بعملية البناء الضوئي بمجرد اخضرارها . وقد أطلق على هذا العامل الداخلي
اسم « العامل البروتوبلازمي » ويبدو أنه ذو طبيعة إنزيمية .

٣ - تراكم نواتج البناء الضوئي : من المعلوم أن تراكم النواتج النهائية
لأى تفاعل كيميائي يؤدي عادة إلى إبطاء سرعته . هذه الحقيقة صحيحة بالنسبة
 لعملية البناء الضوئي ، فإذا كان تراكم نواتج العملية في الأنسجة الخضراء أسرع
من انتقالها إلى الأنسجة الأخرى فإن ذلك يؤدي إلى إبطاء سرعة العملية أو
توقفها ، وخاصة في النباتات التي لا يتكون النشا في أوراقها كمعظم النباتات
ذوات الفلقة الواحدة . أما حين تتحول المادة السكرية في الورقة إلى نشا فإن
الأخيرة تخرج من التفاعل ولا يكون لتراكمها أى تأثير يذكر في عملية البناء
الضوئي .

ويتضح النقص في معدل عملية البناء الضوئي الذي يصحب تراكم نواتجها
في تجارب التحليق (Ringing) ، فقد لوحظ أن معدل العملية في الأوراق
الموجودة فوق منطقة الحلقة أقل منه في الأوراق الأخرى ، وذلك نظراً لزيادة
المحتوى السكري في الأوراق الأولى زيادة كبيرة نتيجة لتوقف الانتقال منها .

آلية البناء الضوئي

إن العملية التي تشتمل على تحويل المواد الأولية (ثاني أكسيد الكربون
والماء) إلى مواد كربوهيدراتية وأكسيجين ليست عملية اتحاد بسيطة بين ثاني
أكسيد الكربون والماء كما تدل على ذلك المعادلة :



ولكنها تتم في الحقيقة على مراحل عدة ، تؤدي المادة الخضراء دوراً هاماً
في واحدة منها على الأقل . كذلك يزاد الاعتقاد بأن إنزيماً أو عدة إنزيمات
تشارك في بعض هذه الخطوات .

وعدد الخطوات التي تشتمل عليها عملية البناء الضوئي غير معروف على وجه التحديد ، غير أنه يمكن تمييز نوعين من التفاعلات ، أحدهما تفاعل ضوئي يتطلب وجود الضوء والآخر يعرف « بتفاعل الظلام » أو « تفاعل بلا كان » ولا يتطلب وجود الضوء . يؤيد ذلك ما سبق أن ذكرناه من أن المعامل الحرارى لعملية البناء الضوئي - عندما تكون شدة الإضاءة وتركيز ثاني أكسيد الكربون متوفرين - يبلغ ٢ تقريباً ، وحيث أن هذا المعامل هو الخاص بالتفاعلات الكيميائية فإن ذلك يدل على أن عملية البناء الضوئي تشتمل على تفاعل ضوئي واحد على الأقل . أما الدليل على اشتغال عملية البناء الضوئي على تفاعل ضوئي كيميائي فيستمد من اقتراب المعامل الحرارى للعملية من الوحدة عندما تكون شدة الإضاءة ضعيفة بحيث يصبح الضوء عاملاً محدداً ، إذ من المعروف أن هذا المعامل الحرارى هو الخاص بالتفاعلات الضوئية الكيميائية .

وقد وضعت نظريات كثيرة لتوضيح التفاعلات التي تشتمل عليها عملية البناء الضوئي ، افترض معظمها تكون الفورمالدهيد كناتج وسطي ، غير أن ما صادف الباحثين من فشل في إثبات تكون الفورمالدهيد في الورقة يوحى - في حالة صحة الفرض السابق - بأن الفورمالدهيد لا يتراكم في الورقة بل يتبلمر (Polymerizes) بمجرد تكونه إلى سكر .

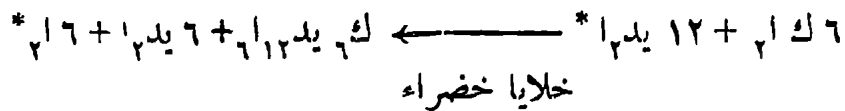
وأولى هذه النظريات هي نظرية الفورمالدهيد التي وضعها باير (Baeyer) - عام ١٨٧٠ - ومؤداها أنه عندما يتعرض الكلوروفيل لضوء الشمس يتفكك ثاني أكسيد الكربون المحيط به إلى ذرة أكسجين وتتصاعد وأول أكسيد كربون يبقى مرتبطاً بالكلوروفيل ، حيث يختزل بإيدروجين الماء مكوناً الفورمالدهيد الذي يتجمع إلى سكر أحادي . وتتصاعد ذرة أكسجين أخرى من الماء . يتضح من ذلك أن ٥٠ ٪ من الأكسجين المتصاعد في عملية البناء الضوئي مصدرها ثاني أكسيد الكربون ، أما الباقي فمصدره الماء الذي يدخل في التفاعل .

مصدر الأكسجين المتصاعد :

أدت الأبحاث التي أجراها روبن (Ruben) ومساعدوه عام ١٩٤١ - إلى تبين مصدر الأكسجين المتصاعد في أثناء عملية البناء الضوئي . فعند استعمال الأكسجين المناظر (الذي وزنه الذرى ١٨ وليس ١٦ كما هو الحال في الأكسجين العادى) في تجارب البناء الضوئي وجد أن كل الأكسجين المتصاعد مصدره الماء وليس ثاني أكسيد الكربون . ذلك أنه عندما ضيء لطحلب الكلوريللا أن يقوم بالبناء الضوئي في وجود ماء يحتوى على (١٨١) كان الأكسجين المتصاعد يحتوى على المناظر الثقيل ، أما عندما كان ثاني أكسيد الكربون هو الذى يحتوى على (١٨١) فقد تصاعد الأكسجين خال من هذا المناظر الثقيل تماماً ، يتضح من ذلك أن الماء هو مصدر كل الأكسجين المتصاعد .

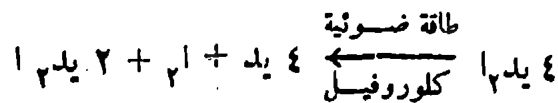
وحيث أن خروج جزيء من الأكسجين يتطلب وجود جزيئين من الماء وأن معامل البناء الضوئي (Photosynthetic quotient) وهم نسبة الأكسجين المنطلق إلى ثاني أكسيد الكربون المستهلك يساوى الوحدة . فإن المعادلة الآتية تكون أكبر تمثيلاً للتغيرات النهائية للعملية من المعادلة التقليدية .

طاقة ضوئية



وتحدد العلامة الموجودة في المعادلة نفس ذرات الأكسجين . ولكي توزن المعادلة فقد استخدم عدد مضاعف من جزيئات الماء . وليس بالضرورة أن تكون هذه المعادلة صحيحة ، إلا أنها تدل على أقل عدد ممكن من جزيئات الماء يمكن أن يستخدم في التفاعل .

وتمثل المعادلة الآتية التفاعل المؤدى إلى تصاعد الأكسجين .

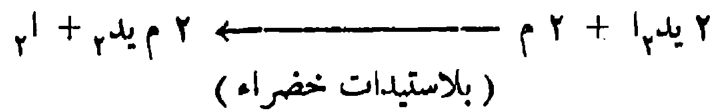


وحيث أن هذه المعادلة توحى بانشقاق الماء بالضوء إلى شقي الإيدروجين والإيدروكسيل ، فقد أطلق على هذه المرحلة الانشقاق الضوئي للماء (Photolysis) . ونظراً لأن الضوء لا يمتص بواسطة الماء فإنه يصبح من العسير اعتبار هذا التفاعل كيميائياً ضوئياً بالمعنى الحقيقي ، ويتجه الرأي حديثاً إلى اعتباره تأكسداً ضوئياً لأيونات الإيدروكسيل يصاحبه اختزال ضوئي لأيونات الإيدروجين ، أو ما يعرف بالانتقال الإلكتروني الضوئي (Photoelectron transport) .

تفاعل هل :

أوضحت تجارب روبن هل (Robin Hill) - عام ١٩٣٧ - الدور الذي يقوم به الضوء في عملية البناء الضوئي ، إذ أمكنه فصل مرحلة الاختزال الكربوني عن مرحلة تثبيت الطاقة الضوئية ، وذلك باستعمال بلاستيدات خضراء معزولة من النباتات . فإضاءة معلق البلاستيدات الخضراء في غياب ثاني أكسيد الكربون تؤدي - إذا وجد مستقبل مناسب للإيدروجين كحديدى السيانور أو الكينون - إلى انطلاق الأكسجين . وقد ثبت باستعمال الأكسجين الثقيل (١٨١) أن الأكسجين المتصاعد يأتي من جزيئات الماء كما هو الحال في البناء الضوئي الحقيقي . وهذا التفاعل - المعروف الآن بتفاعل هل (Hill reaction) - يمكن تلخيصه في المعادلة التالية ، بفرض أن « م » تقوم مقام المستقبل الإيدروجيني :

(ضوء)



وقد تبين أن النبات الكامل يستطيع القيام بتفاعل هل ، أى يتصاعد منه الأكسجين دون اختزال لثاني أكسيد الكربون . فمثلاً عندما أضيء معلق خلايا الكلوريل في غياب ثاني أكسيد الكربون - ولكن في وجود مواد معينة تستقبل الإيدروجين مثل البنزوكينون - انطلق الأكسجين الناتج من

الماء . وقد أصبح من المتفق عليه الآن أن تفاعل هل - الذى يعتبر فى حقيقته انشقاقاً للماء بمساعدة الضوء - يمثل المرحلة الابتدائية لعملية البناء الضوئى ، أى أن الضوء الممتص بواسطة البلاستيدات الخضراء فى النبات يساعد على تفكك الماء إلى الإيدروجين والأكسجين . ويتصاعد الأكسجين الناتج من هذا الانشقاق على هيئة أكسجين جزيئى ، أما الإيدروجين فيخزن فى البلاستيدات الخضراء متحداً مع مادة تستطيع استقباله وتعمل كعامل مخزن يقوم - بطريق مباشر أو غير مباشر - بنقل الإيدروجين إلى ثانى أكسيد الكربون أو غيره من المركبات . وقد دلت بحوث أرنون ومرافقيه - عام ١٩٥٧ - على أن نيكوتينا مايد أدينين ثنائى النيوكلويد الفوسفاتى (ن ا ث فو) يعمل كمستقبل للإلكترونات أو الإيدروجين الناتج من الانشقاق الضوئى للماء . وعليه فإذا اعتبرنا أن دور الضوء هو انشقاق الماء ، فإن اختزال ثانى أكسيد الكربون يمكن أن يتم فى الظلام . وقد دلت التجارب التى أجريت على الطحالب الخضراء أن اختزال ثانى أكسيد الكربون يستمر فى الظلام لفترة وجيزة عقب حرمانها من الضوء .

المجموعتان الصبغيتان (Two pigment systems) :

فى أواخر الخمسينات وأوائل الستينات أصبح واضحاً أن البناء الضوئى يتطلب تآزر عمليتين كيمووضوئيتين ، يؤثر فى كليهما الضوء ذو الأطوال الموجية الأقصر من ٦٨٠ نانومتر ($n = 10-11$ م) بينما الأطوال الموجية الأعلى تؤثر فى عملية واحدة فحسب (كلايتون ١٩٦٥ ، Clayton) ، ولقد أوضحت التحاليل العديدة لصبغ الكلوروفيل ا وهو فى داخل الورقة ، أن الجزء الأكبر منه يوجد فى صورتين : صورة ذات درجة امتصاص قصوى عند ٦٧٣ نانومتر (كلوروفيل ا ٦٧٣) ، بينما الصورة الأخرى ذات درجة امتصاص قصوى عند ٦٨٣ نانومتر (كلوروفيل ا ٦٨٣) - بتلر Butler ١٩٦٦ - وهناك أيضاً كلوروفيل ذو امتصاص موجى أطول ولكنه يوجد بكمية تقل كثيراً جداً عن الصورتين الأولىين ، هذا الكلوروفيل

له درجة امتصاص قصوى عند طول موجى ٧٠٣ نانومتر ويطلق عليه ص ٧٠٠ (P700) ويعتقد أنه صورة أخرى من صور كلوروفيل ا (كلايتون - ١٩٦٦ - Clayton) .

وعليه فإن المرحلة الكيموضوئية من البناء الضوئى تتضمن مجموعتين ضوئيتين منفصلتين يطلق عليهما المجموعة الضوئية (١) والمجموعة الضوئية (٢) والأولى غنية بكلوروفيل ا كما تحتوى كاروتينويدات ، وكمية من كلوروفيل ب أقل مما فى المجموعة الضوئية (٢) . وتعمل أصباغ المجموعتين الضوئيتين على جمع الطاقة . ونقلها إلى جزيئات الكلوروفيل ا الموجودة فى مراكز النشاط الكيموضوئى . ويتكون مركز النشاط الصبغى فى المجموعة الضوئية (١) من كلوروفيل ا الذى يمتص الموجات الضوئية عند ٧٠٣ نانومتر والذى أطلق عليه ص ٧٠٠ ، أما الكلوروفيل ا الموجود فى مركز نشاط المجموعة الضوئية (٢) فهو من النوع الذى يبلغ أقصى امتصاصه ٦٨٢ نانومتر ويعرف بالكلوروفيل ٦٨٠ . وجزيئات كلوروفيل ا (الجزيئات المانحة) تحتل مستقبلات الكترونية معينة وتتأكسد هى فى نفس الوقت ، أما حاملات الالكترىون المختزلة فتبدأ انسياباً الكترونياً تتحول فى أثناءه الطاقة إلى طاقة كيميائية .

وحدة البناء الضوئى (Photosynthetic unit) :

لقد كان المعتقد أن امتصاص الطاقة الضوئية وتحولها يتطلب وجود بلاستيدات خضراء كاملة ، إلا أن كثيراً من الباحثين أوضحوا فى السنوات الأخيرة إمكانية حدوث تفاعل هل فى بلاستيدات خضراء بالغة التفتت ، وهذا يوحى أن البلاستيدات الخضراء تحتوى على عدد كبير من وحدات البناء الضوئى الصغيرة . ويعتقد أن وحدة البناء الضوئى الأساسية تحتوى على حوالى ٤٠٠ جزيء كلوروفيل جامعة للطاقة ومركز اصطياد واحد . ويعمل الترابط الوثيق لجزيئات الكلوروفيل فى البذيرات أو الحبات (Grana) على حسن انتقال الالكترىونات بطريقة ترددية (Reasonance transfer) .

ويطلق أحياناً على جزيئات الكلوروفيل المكسدة في ترتيب محكم والحاصدة للضوء اسم « الكلوروفيل الهوائى (Antennae chlorophyll) » .

ويتم انتقال الطاقة الضوئية من صبغ ذى موجة امتصاص قصيرة (طاقة أعلى) إلى صبغ ذى موجة امتصاص أطول (طاقة منخفضة) . ففي المجموعة الضوئية (١) يكون الصبغ ذو موجات الامتصاص الطويلة هو ص ٧٠٠ ، وفي المجموعة الضوئية (٢) يكون صبغ الامتصاص هو ص ٦٨٠ . وعند إهاجة هذه الأصباغ فإنها تستطيع أن تحتل المستقبلات الالكترونية ، ومن ثم تسمح بمرور الالكترونات إلى جزيئات أخرى .

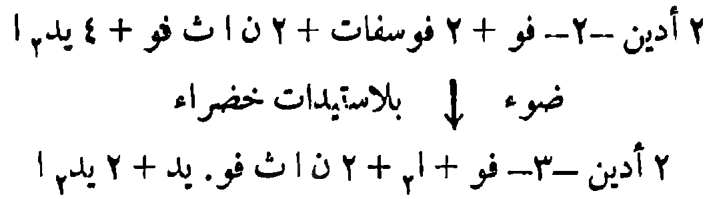
الفسفرة الضوئية (Photophosphorylation) :

عندما اتضحت قدرة البلاستيدات الخضراء المعزولة على تثبيت ثاني أكسيد الكربون ، أصبح واضحاً أن البلاستيدة الخضراء تحتوى الإنزيمات المطلوبة لتكوين أدين-٣- فو اللازم لتثبيت ك_٢ وإنتاج المواد الكربوهيدراتية . وقد كان أرنون ورفاقه (Arnon et al.) عام ١٩٦٤ أول من أوضح قدرة البلاستيدة الخضراء المعزولة على إنتاج أدين-٣- فو عند تعرضها للضوء . وقد أطلقوا على هذه العملية الفسفرة الضوئية أو فسفرة البناء الضوئى (Photosynthetic phosphorylation) وذلك تمييزاً لها عن عملية تخليق أدين-٣- فو بواسطة الميتوكوندريا والمعروفة باسم الفسفرة التأكسدية (Oxidative phosphorylation) .

ويختلف تكوين أدين - ٣ - فو في البلاستيدات الخضراء عنها في الميتوكوندريا وذلك لأن العملية الضوئية مستقلة تماماً عن عمليات التأكسد التنفسية التى تحتاج إلى الأكسجين ، والواضح أن الطاقة الضوئية فى العملية الأولى تتحول إلى طاقة كيميائية .

وليس أدين-٣- فو هو المتطلب الوحيد لإنتاج الكربوهيدرات ، بل تتكون أيضاً مادة مخزنة تمنح الإيدروجين أو الالكترونات ، فقد أوضح

أرنون عام ١٩٥١ قدرة البلاستيدات الخضراء عند إضاءتها على اختزال نيوكليوتيدات البيريدين طالما ارتبط التفاعل الضوء كيميائى بمجموعة إنزيمية قادرة على استخدام نيوكليوتيد البيريدين الفعال فى البناء الضوئى وهو نيكوتيناميد أدين ثنائى النيوكليوتيد الفوسفاتى (NADPH) . فى وجود الماء وأدين - ٢ - فو والفوسفات يختزل المرافق الإنزيمى المتأكسد ويتصاعد الأكسجين حسب المعادلة الآتية :



ومعنى ذلك أن انطلاق جزىء من الأكسجين يكون مصحوباً باختزال جزئيين من ن ا ث فو وتكوين جزئين من أدين ٣ فو . وكلا المركبان أدين - ٣ - فو ، ن ا ث فو . يد يزود الطاقة والقرة الاختزالية اللازمة لتثبيت ك ا ب .

الفسفرة الضوئية غير الدائرية (Noncyclic photophosphorylation) :

إن الإنسياب الأولى للإلكترونات فى بذيرة البلاستيدة الخضراء يبدأ فى وقت واحد لكل مجموعة ضوئية ، وذلك خلال سلسلة متكاملة من التفاعلات تقترن بالانشطار الضوئى للماء . وهذا الانسياب الإلكترونى ضرورى لتكوين أدين - ٣ - فو ، ن ا ث فويد . ويطلق على هذا التكامل بين المجموعتين الضوئيتين الفسفرة الضوئية غير الدائرية أو الانتقال الإلكترونى غير الدائرى .

ويوضح الشكل (٣٧١) أنه بعد إهاجة ص ٧٠٠ - وهو مصيدة المجموعة الضوئية (١) - تنتقل الإلكترونات إلى مستقبل إلكترونى غير مميز ويعتقد أنه بروتين حديدى كبريتى ، ثم تنتقل الإلكترونات إلى الفيريدوكسين وهو بروتين يحتوى على الحديد ومنه إلى ن ا ث فو الذى يتحول إلى صورته المختزلة ن ا ث فو يد + يد + (يكتب عادة فى صورة مختصرة ن ا ث فو . يد) .

الحاملان الأولان ١، ب غير معروفين إلى الآن، ومنهما إلى البلاستوكينون ثم السيتوكروم و (وهو نوع خاص بالورقة) ثم البلاستوسيانين (صبغة بروتينية زرقاء محتوية الجزئ على ذرتي نحاس، وتوجد في البلاستيدات الخضراء بمعدل يقرب من جزئ واحد لكل ٢٠٠ جزئ من الكلوروفيل).

وعند مرور الإلكترونات من البلاستوكينون إلى السيتوكروم و، يتكون في هذا الموضع جزئ من الأدينوسين ثلاثي الفوسفات. أما الفراغ الإلكتروني الذي نشأ في المجموعة الضوئية (٢) فيملاً بالإلكترونات الناشئة عن انشطار الماء ضوئياً. وهكذا فإن مرور الإلكترونات يتطلب كلتا المجموعتين الضوئيتين وينتج عن ذلك تكون ن ا ث فو. يد وأدين -٣- فو.

الفسفرة الضوئية الدائرية :

إذا فرضنا أن البلاستيدات الخضراء عرضت لضوء أطواله الموجبة أعلى من ٦٨٠ نانومتر (منطقة الطيف التي يشغلها الضوء الأحمر الذي يمتصه كلوروفيل ا) فإن المجموعة الضوئية (١) هي وحدها التي ستنشط ومن ثم لا تنتقل الإلكترونات الماء، ولا يتصاعد في هذه الحالة أكسجيناً. وعند توقف انسياب الإلكترونات من الماء تتوقف الفسفرة الضوئية غير الدائرية وينخفض تمثيل ثاني أكسيد الكربون. ولا يتكون ن ا ث فو المختزل.

ويسبب تنشيط المجموعة الضوئية (١) بالموجات الضوئية الأطول من ٦٨٠ نانومتر انسياب الإلكترونات من ص ٧٠٠ إلى المركب الذي لم يتحدد بعد، ونظراً لعدم مرور الإلكترونات إلى ن ا ث فو المؤكسد فإنها تتحول إلى سلسلة نقل الكتروني وسطية ربما عن طريق سيتوكروم ب ٦، وهذا يسمح بدوارة بعودة الإلكترونات إلى الشاغل الإلكتروني في ص ٧٠٠ عن طريق سيتوكروم و ثم البلاستوسيانين. وهكذا يتم نقل الإلكترونات في دورة مغلقة دون أن تسفر عن احتزال ن ا ث فو، ويرتبط بهذا الانسياب الإلكتروني تحول أدين -٢- فو إلى أدين -٣- فو، وهذا ما يطلق عليه الفسفرة الضوئية الدائرية.

ورغم أن بعض المخططات يوضح أن تكوين أدين - ٣ - فو في الفسفرة الضوئية الدائرية يتم في موضعين يقعان بين البروتين الحديدي الكبريتي والسيتوكروم ب ٦ وبين الأخير وسيتوكروم و ، غير أن هذا ليس محتملا دون وساطة البلاستوكينون .

تثبيت ثاني أكسيد الكربون واختزاله (دورة كالفين) :

أدى استمرار استعمال العناصر المشعة إلى إثبات أن الناتج الوسطى الأساسى للعملية ليس هو الفورمالدهيد بل مركب يحتوى على ثلاث ذرات من الكربون . فعندما استعمل بنسون وكالفين (Benson & Calvin) ، ١٩٤٩ - ١٩٥٠ ، الكربون المناظر (ك ١٤) في صورة ثاني أكسيد كربون في تجارب البناء الضوئى وحللا خلايا طحلب الكلوريللا المستعملة على فترات متتابة ، تبين أنه عندما أضيئت الخلايا مدة طويلة نسبياً (نصف ساعة) ظهر الكربون المشع في جزيئات المادة السكرية المتكونة (السكروز) . ولكن عندما قصرت فترة البناء الضوئى حتى بلغت خمس ثوان ظهرت نسبة كبيرة (حوالى ٧٠ ٪) من الكربون المشع في حمض فوسفو الجليسريك الذى يحتوى على ثلاث ذرات من الكربون ، وعلى ذلك استنتج العالمان أن هذا الحمض هو الناتج الوسطى الأساسى في عملية تحويل ثاني أكسيد الكربون إلى سكر . ومن المعروف كذلك أنه أحد النواتج الوسطية في عملية التنفس ، التى تشتمل على تكسير السكر إلى ثاني أكسيد الكربون . وعندما طالت فترة التجربة قليلا عن هذه الثوانى الخمس ظهر الكربون المشع في مركبات أخرى (حمضى المالىك والبيروفيك وغيرهما من الأحماض العضوية والأمينية) ، ثبت أن بعضها نواتج وسطية لعملية التنفس . وعلى ذلك استنتج الباحثان أن المرحلة التى يتم فيها اختزال ثاني أكسيد الكربون في عملية البناء الضوئى يمكن أن تسير على الأقل في جزء منها - في اتجاه عكسى لما يحدث في عملية التنفس .

وقد كان لاكتشاف تكون حمض فوسفو الجليسريك كأول ناتج وسطى

أساسي لعملية البناء الضوئي أكبر الفضل في التحقق من أن البناء يتضمن عملية فسفرة . فالكم الضوئي الذي يؤدي إلى تكوين نيوكليوتيد البيريدين المختزل (ن ا ث فويد) اللازم لتثبيت ثاني أكسيد الكربون يؤدي في نفس الوقت إلى تكوين أدينوسين ثلاثي الفوسفات (أدين - ٣ - فو) ، الذي تحتزن فيه الطاقة الضوئية على هيئة روابط غنية بالطاقة ، وبذلك تنشأ القوة الدافعة لتحويل ثاني أكسيد الكربون إلى نواتج كربوهيدراتية كما سبق أن ذكرنا في الفسفرة الضوئية .

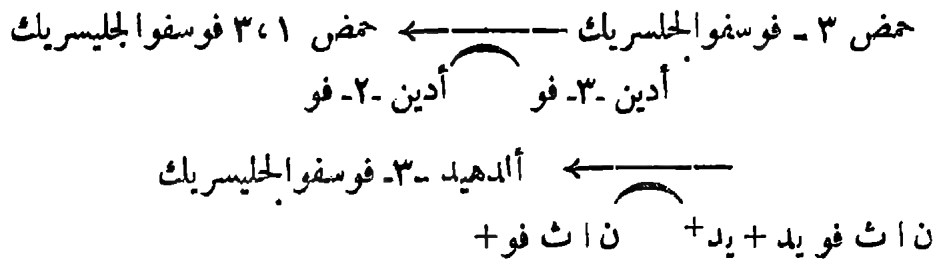
وبدئنا أن حمض فوسفو الجليسريك لا يتكون من ثاني أكسيد الكربون مباشرة ، بل من اتحاد الأخير مع مركب آخر كان يعتقد كالفين ومرافقوه أنه مركب ثنائي ذرات الكربون ثم اتضح لهم عام ١٩٥٦ أنه مركب خماسي ذرات الكربون هو ريبيلوز ثنائي الفوسفات (Ribulose diphosphate) . وينتج عن هذا الاتحاد مركب سداسي ذرات الكربون ، ينشق إلى جزيئين من حمض فوسفو الجليسريك ، ثم يختزل هذا الحمض في الضوء إلى ألدهيد فوسفو الجليسريك الذي يتكثف - في خطوات مماثلة لعكس ما يحدث في التنفس - إلى سكر سداسي ثنائي الفوسفات هو « فركتوز ١ ، ٦ ثنائي الفوسفات » ، الذي يعتبر مصدراً للسكريات الأحادية والسكريوز والنشا المتكونة في أثناء البناء الضوئي .

ولكى تستمر عملية البناء الضوئي لا بد من استمرار وجود الحافز إليها ، وهو تكوين نيوكليوتيد البيريدين المختزل وأدينوسين ثلاثي الفوسفات ، وكلاهما يتكون نتيجة لامتصاص الضوء . ويتجدد ريبيلوز ثنائي الفوسفات اللازم أيضاً لاستمرار البناء من سلسلة من التفاعلات الكيميائية ، يتحول فيها ٣ ألدهيد فوسفو الجليسريك المتكون إلى مركبات رباعية وسداسية وسباعية ذرات الكربون ، تنتهي فيما بينها إلى تكوين السكر الخماسي . وقد سميت هذه التفاعلات بدورة كالفين (Calvin cycle) ، وقد منح كالفين جائزة نوبل

عام ١٩٦١ تقديراً لهذا العمل الذى يتكون أساساً من أربعة مراحل رئيسية هى :

١ - يتحد ك_٢ والماء مع الريبولوز ثنائى الفوسفات لتكوين جزيئين من حمض ٣- فوسفو الجليسريك (3-PGA) .

٢ - يختزل حمض ٣- فوسفو الجليسريك إلى ألدهيد ٣- فوسفو الجليسريك بواسطة الكبرونات يزودها ن ا ث فو يد وطاقة يزودها أدين-٣- فو وهما ناتجا تفاعلات الضوء فى البناء الضوئى ويتم هذا التفاعل على النحو التالى :



٣ - بعض جزيئات ألدهيد ٣- فوسفو الجليسريك تتحول إلى الفركتوز ثنائى الفوسفات الذى يتحول جزء منه إلى الزيلولوز - ٥ - فوسفات . أما بقية جزيئات ألدهيد ٣- فوسفو الجليسريك فتتحد مع سيدوهيتولوز -٧- فوسفات وينتج عن هذا الاتحاد تكوين ريبوز -٥- فوسفات وزيلولوز -٥- فوسفات ، ويتكون الريبولوز -٥- فوسفات مباشرة من أى من هذين السكرين الخماسيين .

٤ - يتفسفر الريبولوز -١- فوسفات على حساب أدينوسين ثلاثى الفوسفات مكوناً ريبولوز ثنائى الفوسفات الذى يمكن أن يستقبل ك_٢ ليعيد الدورة .

مما سبق يتضح أن دورة كالفن تحقق تولد الريبولوز ثنائى الفوسفات كما تؤدي إلى تكوين مخزون كربوإيدراتى حيث أن بعضاً من جزيئات ألدهيد ٣- فوسفو الجليسريك يستغل فى تكوين السكروز والنشا والسليولوز والبكتين وغيرها من عديدات التسكر ، وذلك بدلا من تحويلها بالكامل إلى

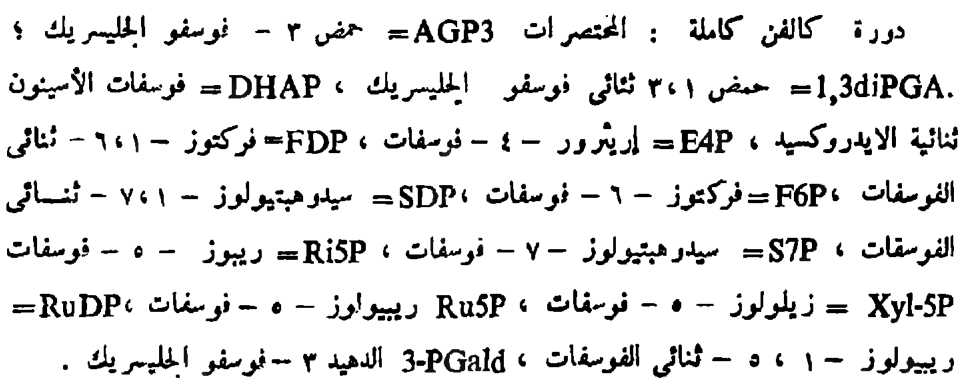
الريبولوز - ٥ - فوسفات . ويعنى هذا أن تكرار الدورة ٦ مرات يؤدى إلى تثبيت ٦ جزيئات من ك_٣ ويتكون جزيء واحد من الهكسوز فوسفات . ويوضح الشكل (٣٧٢) دورة كالفن كاملة ، ومنها تتضح الحاجة إلى جزيئين من ن ا ث فويد (جزيء لكل من جزيئى حمض ٣ - فوسفو الجليسيريك المتكونين) وثلاثة جزيئات من أدين - ٣ - فو ، جزيئان منها لاخترال جزيئى حمض ٣ - فوسفو الجليسيريك ، أما الجزيء الثالث فيحول الريبولوز - ٥ - فوسفات إلى الريبولوز - ١ ، ٥ - ثنائى الفوسفات .

مسار هاتش - سلاك لتثبيت ك_٣ (Hatch-Slack Pathway) :

كان يظن بعد التعرف على النواتج الوسيطة لدورة كالفن أن كل ما يتعلق بتثبيت ك_٣ واختزاله فى النباتات قد أصبح واضحاً ، غير أن العالمين هاتش وسلاك (١٩٦٦ ، ١٩٦٧) قد لاحظا أن بعض النباتات وخاصة الاستوائية منها يتكون فيها بعد فترات قصيرة من البناء الضوئى حامضاً المالىك والأسبارتيك وتظهر أيضاً كمية ضئيلة جداً من حمض فوسفو الجليسيريك ، مما يوحى بأن المركب الأخير ليس المركب الوسطى لتثبيت ك_٣ ، ويبدو أن البناء الضوئى يسلك فى هذه النباتات مسلكاً مغايراً لدورة كالفن .

ويطلق الآن على أنواع النباتات التى تستخدم ريبولوز ثنائى الفوسفات فى الاتحاد مع ك_٣ وإنتاج حمض ٣ - فوسفو الجليسيريك بالأنواع ثلاثية الكربون (C-3 species) . أما الأنواع الأخرى من النباتات التى تتكون فيها مركبات كربونية رباعية كنتاج وسطى للبناء الضوئى فتعرف بالأنواع رباعية الكربون (C-4 plants) ، ومعظمها من ذوات الفلقة الواحدة .

ويبدو أن التفاعل فى النباتات رباعية الكربون يتم باتحاد ك_٣ وحمض الفوسفو إينول بروفيك مكوناً حمض الأكسالو خليك والفوسفات . وعادة ما يصعب العثور على هذا الحمض الأخير كنتاج لعملية البناء الضوئى نظراً لصعوبة فصله بالطرق اللونية . ويساعد التفاعل السابق إنزيم كاربوكسيليزى هو كاربوكسيليز الفوسفو إينول بروفات (Phosphoenol pyruvate carboxylase) .



(عن السبوری وروس ۱۹۷۸)

ويعقب ذلك تكون حمض المالك في وجود إنزيم ديهيدروجينيز المالك ومانح الإلكترونات ن ا ث فو يد . ومن حمض أكسالو الحليك يتكون حمض الأسبارتيك في وجود الألائين كمانح لمجموعة الأمين . وهكذا فكل النواتج الوسطية في مسار هاتش - سلاك للبناء الضوئي رباعية الكربون ومن هنا كانت تسمية النباتات التي يتم فيها هذا المسار بالأنواع رباعية الكربون . وسنكتفي في هذا المجال بهذه العجالة القصيرة .

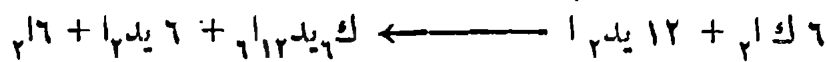
البناء الضوئي والكيميائي في البكتيريا

تستطيع بعض الكائنات الدقيقة - وخاصة البكتيريا - بناء المواد العضوية الغنية بالطاقة من ثاني أكسيد الكربون والماء . وتحصل بعض هذه البكتيريا على الطاقة اللازمة لهذا البناء من الضوء كما يحدث في النباتات الخضراء ، غير أن بعضها الآخر يحصل على الطاقة اللازمة من أكسدة بعض المواد غير العضوية مثل النوشادر أو كبريتيد الإيدروجين أو الكبريت أو الإيدروجين أو الحديد في صورته المختزلة كما في كربونات الحديدوز .

والبكتيريا التي تستمد الطاقة اللازمة للبناء من الضوء تحتوى على كلوروفيل بكتيرى وأصباغ أخرى شبه كاروتينية ومن أهم أنواعها بكتيريا الكبريت الخضراء وبكتيريا الكبريت الأرجوانية . ولا يختلف البناء الضوئي في هذه البكتيريا عن مثيله في النباتات الخضراء العادية إلا في نوع المانح الإيدروجيني المستعمل ، فعلى حين يستخدم الماء في النباتات العادية فإن بكتيريا الكبريت الخضراء والأرجوانية تستخدم كبريتيد الإيدروجين ، وعلى ذلك لا يتصاعد الإيدروجين من كبريتيد الإيدروجين ، كما يتضح من المعادلتين الآتيتين :

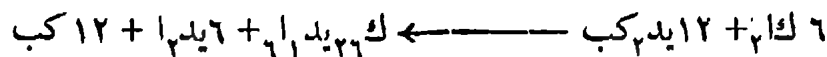
(نباتات خضراء) :

(طاقة ضوئية)



(بكتيريا الكبريت الخضراء أو الأرجوانية) :

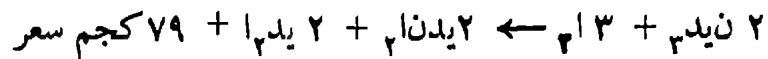
(طاقة ضوئية)



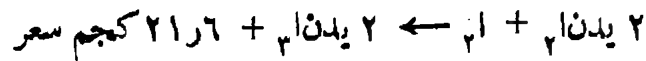
وفى بكتيريا الكبريت الخضراء يتأكسد كبريتيد الإيدروجين إلى عنصر الكبريت فقط ، أما فى بكتيريا الكبريت الأرجوانية فإنه يتأكسد إلى الكبريتات وليس هذا فحسب بل أن هذه البكتيريا الأخيرة قد تستعمل مواد عضوية أخرى كمانحة للإيدروجين مثل الأحماض العضوية ، كما أنها قد تستعمل الإيدروجين الجزيئى .

وفى بعض أنواع البكتيريا الأخرى تكون الطاقة المستخدمة فى بناء المواد الكربوليدراتية مستمدة من تأكسد بعض المواد غير العضوية . ولما كانت الطاقة المنطلقة من عمليات الأكسدة هى طاقة كيميائية ، فقد أطلق على عملية بناء المواد الكربوليدراتية التى تتم على حساب هذه الطاقة « البناء الكيميائى » (Chemosynthesis) ، وذلك تمييزاً لها عن البناء الضوئى الذى تستخدم فيه الطاقة الضوئية . والبكتيريا التى تقوم بالبناء الكيميائى هوائية لا تحتوى على أصباغ ، ومن أمثلتها بكتيريا النيترة وبكتيريا الكبريت عديمة اللون وبكتيريا الحديد وبكتيريا الإيدروجين .

ومن بكتيريا النيترة بكتيرة النيتروسوموناس (Nitrosomonas) ، التى تؤكسد النوشادر أو أملاحه إلى حمض النيتروز أو أملاحه (النيتريت) كما فى المعادلة :



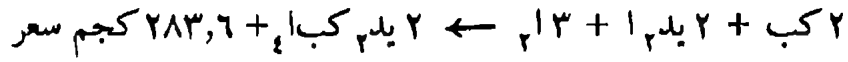
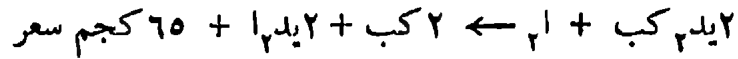
ويتأكسد حمض النيتروز الناتج من هذا التفاعل إلى حمض النيتريك فى وجود بكتيريا أخرى هى النيتروباكتري (Nitrobacter) وذلك كما فى المعادلة :



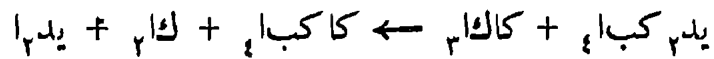
وتستخدم الطاقة الناتجة من عمليات التأكسد السابقة فى بناء المواد الكربوليدراتية فى هذين النوعين من البكتيريا اللذين يوجدان بكثرة فى التربة الخصبه ، ولنشاطهما تأثير كبير فى زيادة المحتوى النيتروجينى لها .

وتؤكسد بكتيريا الكبريت مادة كبريتيد الإيدروجين ، وتم الأكسدة فى خطوتين : تشتمل الأولى على تكوين الكبريت الذى يظهر على هيئة

حييات في بروتوبلازم خلايا البكتيريا ، وتشمل الخطوة الثانية أكسدة هذا الكبريت إلى حمض الكبريتيك . وذلك كما يتضح من المعادلتين الآتيتين :

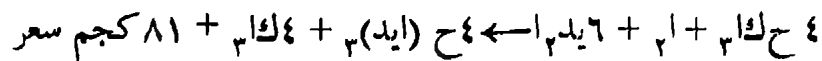


ولا يتراكم حمض الكبريتيك الناتج ، بل يتفاعل مباشرة مع القواعد الموجودة في الخلية مكوناً الكبريتات ، وذلك كما في المعادلة :

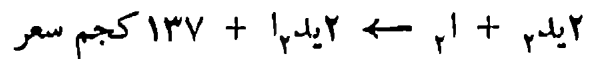


وتستخدم البكتيريا الطاقة الناتجة من الأكسدة في بناء السكريات من ثاني أكسيد الكربون الذائب في الماء .

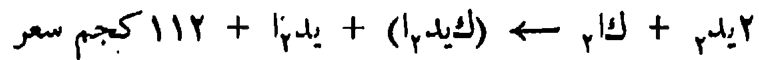
أما بكتيريا الحديد فتؤكسد مركبات الحديدوز إلى الحديديك كما يلي :



وتحصل بكتيريا الإيدروجين على الطاقة اللازمة للبناء الكيميائي للمواد العضوية في خلاياها من تأكسد الإيدروجين الذي يمثله التفاعل الآتي :



وقد وجد روهلاند (Ruhland) أن بعض أنواع بكتيريا الإيدروجين تمتص من الإيدروجين ضعف ما تمتصه من الأكسجين تقريباً ، وعزى هذا إلى أن الإيدروجين يستخدم - بالإضافة إلى التفاعل السابق - في اختزال ثاني أكسيد الكربون لتكوين مواد الخلية ، وذلك كما يلي :



ويقترن هذا التفاعل الأخير - الماص للحرارة - مع التفاعل الأول الطارد للحرارة .

وبكتيريا البناء الكيميائي والضوئي لا تقوم بدور يذكر في الإنتاج الكربوهيدراتي إذا ما قورنت بالنباتات الخضراء . وقد كان لدراستها أهمية خاصة في إظهار الطبيعة الكيميائية لعملية البناء الضوئي في النباتات الخضراء .

الباب السادس والثلاثون

الأيض البنائي

يستعمل اصطلاح « الأيض » (Metabolism) للدلالة على التحولات الكيميائية — من بناء وهدم — التي تحدث في الخلايا الحية . وتتضمن عمليات الأيض البنائي (Anabolism) التفاعلات التي تؤدي إلى تكوين مواد عضوية معقدة من مواد بسيطة ، أما عمليات الأيض الهدمي (Katabolism) فتشتمل على تفكيك المواد العضوية إلى مواد أبسط منها تركيباً . وتقترب عمليات البناء عادة بامتصاص الطاقة ، أما عمليات الهدم فتنتقل في أثناءها الطاقة .

وقد تناولنا في البابين السابقين أهم عمليات الهدم والبناء — وهما التنفس والبناء الضوئي — على أنه لكي تكون الصورة الكاملة للتحولات الغذائية مفهومة للدارس ، فإن وصفاً مختصراً لبعض المركبات العضوية الهامة في النبات سيكون موضوع هذا الباب . وهذه المركبات هي : الكربوهيدرات والبروتينات والدهون ، وهي التي تعرف عادة بالمواد الغذائية .

(١) الأيض الكربوهيدراتي

تكون المواد الكربوهيدراتية قسماً هاماً من مجموعة المواد العضوية التي توجد في النبات ، وهي تشتمل على المادة السكرية الناتجة من عمليات البناء الضوئي ، والمواد الداخلة في تركيب الجدار الخلوي ، وبعض مواد الادخار الهامة كالنشأ ومواد أخرى أقل أهمية توجد بكميات ضئيلة في الخلايا النباتية . وفي الواقع يعتبر السكر المتكون في أثناء البناء الضوئي مصدراً لكل هذه الأنواع المختلفة من المواد الكربوهيدراتية .

وتركيب المواد الكربوهيدراتية من عناصر الكربون والإيدروجين والأكسجين ، ويوجد العنصران الأخيران في جزيئات معظمها بنسبة وجودهما في الماء ، ولذلك تشترك معظم مواد هضم المجموعة في القانون الأولي لهم (بدن) ن .

والكربوهيدرات الشائعة في النباتات يمكن تقسيمها على النحو التالي :

١ - أحاديّات السكر (Monosaccharides) : وأهم ما يوجد منها قسمان ، الأول تحتوى جزيئاته على خمس ذرات من الكربون ويعرف بالسكريات الخماسية أو البنتوزات (Pentoses) مثل الزيلوز (Xylose) والأرابينوز (Arabinose) والريبوز (Ribose) ، أما القسم الثانى فتحتوى جزيئاته على ست ذرات من الكربون ويعرف بالسكريات السداسية أو الهكسوزات (Hexoses) مثل الجلوكوز والمانوز والجالاكتوز والفركتوز .

٢ - ثنائيات السكر (Disaccharides) : مثل السكروز والمولتوز والسلوبيوز واللاكتوز .

٣ - ثلاثيات السكر (Trisaccharides) مثل الرافينوز .

٤ - عديدات السكر (Polysaccharides) مثل النشا والسليلوز والمواد البكتية .

وأحاديّات السكر لا يمكن تحليلها إلى مواد سكرية أبسط منها ، وهى تتميز إلى سكرات ألدهيدية (Aldoses) وسكرات كيتونية (Ketoses) ، ويحتوى جزئ السكر الألدهيدى على مجموعة ألدهيدية ($\text{C}=\text{O}$) ، أما

|
يد

جزئ السكر الكيتونى فيحتوى على مجموعة كيتونية ($\text{C}=\text{O}$) .

أما ثنائيات وثلاثيات السكر فتعتبر سكرات مركبة تتحلل إلى أبسط منها فينتج عن التحليل المائى لجزئ ثنائى السكر جزيئان من أحاديّات السكر ، أما الجزئ فى ثلاثيات السكر فينتج ثلاثة جزيئات . وأحاديّات السكر التى تتكون منها كل السكريات المركبة الهامة فى النبات هى من نوع الهكسوز . وقد تكون جزيئات الهكسوز المكونة للسكر المركب كلها من نوع واحد أو من أكثر من نوع واحد ، ويتوقف هذا على نوع السكر المركب .

ويطلق عادة على أحاديات وثنائيات وثلاثيات التسكر لفظ السكريات ،
ومعظمها مواد بلورية حلوة المذاق وتذوب في الماء .

الخواص العامة للسكريات :

تتميز السكريات إلى سكرات مختزلة وأخرى غير مختزلة ، ويمكن معرفة ذلك بإضافة محلول فهلنج (Fehling's solution) إلى محلول السكر ، فعند التسخين يحول السكر المختزل إيدروكسيد النحاسيك في المحلول الكاشف إلى أكسيد نحاسوز ، الذي يظهر في صورة راسب أحمر ؛ وتعزى الخواص الاختزالية للسكر إلى وجود المجموعة الألدهيدية أو الكيتونية ، وكلتاهما قابلة للتأكسد . ولما كانت أحاديات التسكر تحتوي جزيئاتها على إحدى هاتين المجموعتين فجميعها سكرات مختزلة . أما السكريات المركبة فتعتمد قدرتها الاختزالية على الطريقة التي ترتبط بها الوحدات المكونة للجزيء ، فإذا تم هذا الارتباط على حساب المجموعات الألدهيدية والكيتونية كان السكر المركب غير مختزل .

ومن المألوف في السكريات أن الكثير منها يشترك في القانون الجزيئي الواحد ، ولذلك يكثر بينها التشابه ، وقد يكون هذا التشابه تركيبياً (Structural) أو فراغياً (Stereochemical) ، وفي النوع الأول تحتوى المواد المتشابهة على نفس الذرات وبكميات متساوية ولكنها تختلف في المجموعات الذرية ، فالجلوكوز والفركتوز يشتركان في القانون الجزيئي ($C_6H_{12}O_6$) إلا أن الأول يحتوى على مجموعة ألدهيدية والثاني على مجموعة كيتونية .

أما السكريات التي تتشابه فراغياً فتحتوى على نفس المجموعات الذرية ، غير أن هذه المجموعات ترتب بنظم مختلفة في الفراغ حول ذرات الكربون غير المتناظرة ، فالسكران اليمينيان المانوز والجلوكوز يختلفان في وضع مجموعة الإيدروكسيل حول ذرة الكربون الثانية في جزيء كل منهما ، كذلك يختلف السكران اليمينيان الجلوكوز والجالاكتوز من حيث وضع مجموعة الإيدروكسيل حول ذرة الكربون الرابعة في جزيء كل منهما .

ذرات
كربون

1	1 = ك - بد (مجموعة ألاميدية) بد ابدك	1	(
2	1 = ك (مجموعة كيتونية)	2	بد ا - ك - بد
	بد - ك - ابد	3	بد - ك - ابد
	1 - ك - ابد	4	بد ا - ك - بد
	بد ا - ك - بد	5	بد ا - ك - بد
	بد ابدك	6	بد ابدك
	(الفركتوز الميني)		(الجلوكوز الميني)

ذرات
كوبون

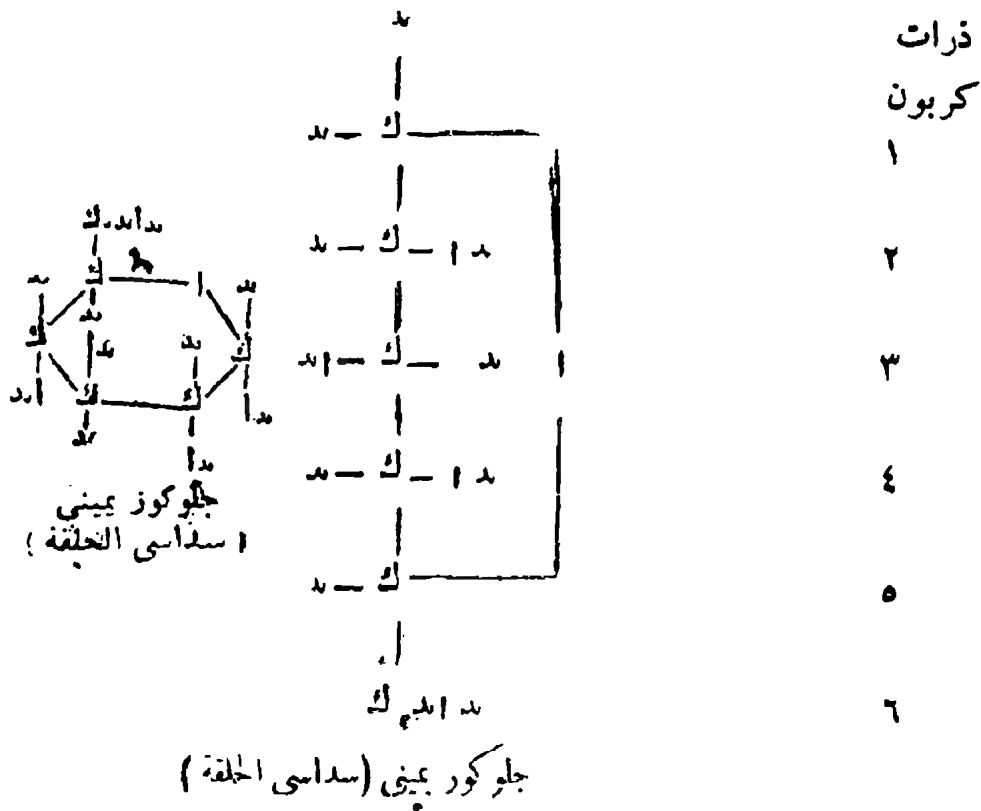
1	1 = ك - بد	1	1 = ك - بد
2	بد ا - ك - بد	2	بد ا - ك - بد
3	بد - ك - ابد	3	بد - ك - ابد
4	بد - ك - ابد	4	بد ا - ك - بد
5	بد ا - ك - بد	5	بد ا - ك - بد
6	بد ابدك	6	بد ابدك
	(الجالاكتوز الميني)		(الغلانوز الميني)

وفي كل السكريات أحادية السكر اليمينية توجد مجموعة الإيدروكسيل على يمين ذرة الكربون الملاصقة للمجموعة الطرفية (ليدمايد) . فإذا ما وجدت مجموعة الإيدروكسيل على يسار ذرة الكربون هذه سمي السكر يسارياً أى أن لكل سكر صورتين متشابهتين فراغياً . ولما كانت المواد التي تحتوى على ذرات كربون غير متناظرة تتميز دائماً - عندما تكون في صورة محلول - بقدرتها على أن تحدث انحرافاً في المستوى الذي يسير فيه الضوء المستقطب * ، فإن إحدى الصورتين تسبب انحراف الضوء المستقطب ناحية اليمين (أى في اتجاه عقرب الساعة) بينما تسبب الصورة الأخرى انحرافه ناحية اليسار (أى في عكس اتجاه عقرب الساعة) ويرمز للاتجاه الأول بالعلامة (+) وللاتجاه الثانى بالعلامة (-) ، إذ أن لفظى يمينى ويسارى السابقين لا يمثلان اتجاه الانحراف في مستوى الضوء المستقطب ، كما أنه ليس من الممكن تحديد الصورة التي تسبب الانحراف في أى الاتجاهين . والجلوكوز الذى يوجد في النبات يمينى الدورة (+) أما الفركتوز فيسارى الدورة (-) .

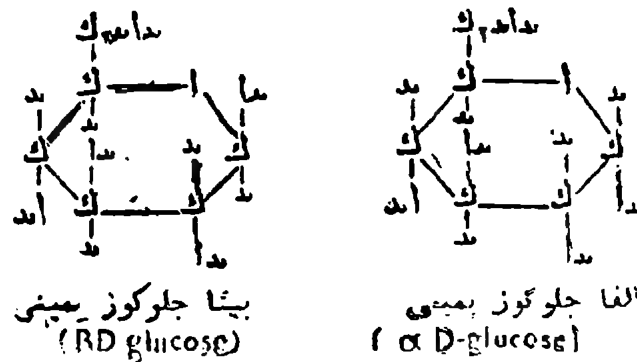
وقد دلت أبحاث كثير من العلماء على أن الجلوكوز - وغيره من الهكسوزات لها من الخواص الكيميائية ما يوحى بأنها توجد في المحلول في صورة حلقة مغلقة بالإضافة إلى التركيب المفتوح الذى سبق ذكره ، والتركيب الحلقي في جزئ الجلوكوز مثلاً يتم باتصال ذرتي الكربون الأولى والخامسة بوساطة ذرة أكسجين . وعندئذ تتكون مجموعة إيدروكسيل جديدة عند الطرف الألهيدى للجزئ ويصبح عدد ذرات الكربون غير المتناظرة خمساً بدلاً من أربع في

(*) من المعروف أن الأشعة في حزمة ضيقة تتذبذب في جميع المستويات ، غير أن هناك منشورات معينة لها القدرة على وقف الذبذبات في كل المستويات فيما عدا مستوى واحد ، ويطلق على الضوء المار خلال هذه المنشورات اسم « الضوء المستقطب » Polarized Light . فإذا سمح لهذا الضوء بالمرور خلال محلول السكر أو مادة مشابهة له فإن المستوى الذي تسير فيه الذبذبات ينحرف ، ويمكن توضيح ذلك بوضع منشور ثان في مسار الضوء الخارج من المحلول ، فالمقدار الذى يدار به هذا المنشور الثانى يميناً أو يساراً بالنسبة لوضعه الأسمى - حتى يسمح للضوء بالمرور خلاله - يبين مقدار انحراف الضوء المستقطب واتجاهاته .

التركيب المفتوح . وفي الفركتوز يكون التركيب الحلقي بين ذرتي الكربون الثانية والسادسة .

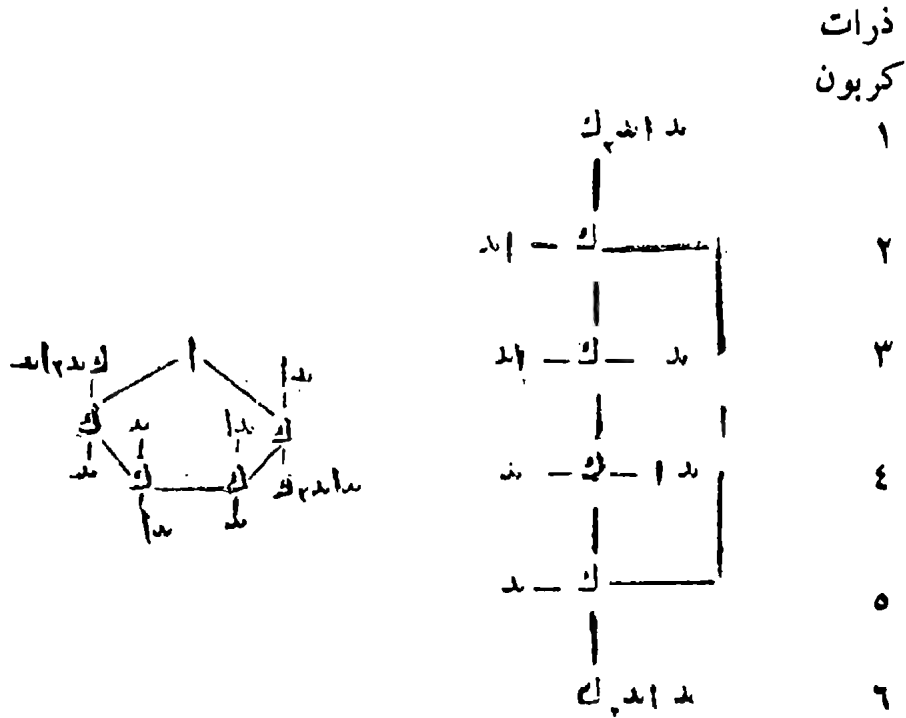


وعلى حسب وضع مجموعة الإيدروكسيل المتكونة بالنسبة لبقية الجزئ يتميز الجلوكوز الحلقي إلى صورتين - ألفا وبيتا - تختلفان في خواصهما فالأولى مثلاً دورتها اليمينية (+ ١١٣°) أما الثانية فدورتها (+ ١٩°) .



والتركيب الحلقي سداسي عادة (Pyranose ring) غير أنه في بعض الأحيان قد يكون خماسياً (Furanose) ، وفي هذه الحالة يكون السكر نشطاً

غير ثابت كما في حالة الفركتوز النشط المعروف باسم « جاما فركتوز » وفيه تتكون الحلقة بارتباط ذرتي الكربون الثانية والخامسة بذرة من الأكسجين كما يلي :



الفركتوز البسيط خماسي الحلقة (D-Fructofuranose)

وهذه الصورة النشطة للفركتوز هي التي يوجد عليها في السكريز وعديدات السكر المختلفة .

أحاديات السكر

سبق أن ذكرنا أن هذه السكريات تنقسم تبعاً لعدد ذرات الكربون الداخلة في تركيب جزيء كل منهما إلى سكريات خماسية - أي بنتوزات - وقانونها الجزيئي (ك٥ يد١٠هـ) ، وسكريات سداسية - أي هكسوزات - وقانونها الجزيئي (ك٦ يد١٢هـ) وسنقصر الكلام هنا على السكريات السداسية .

وأهم السكريات السداسية الموجودة في النبات هي السكريات اليمينية ، الجلوكوز (سكر العنب أو الدكستروز) والفركتوز (سكر الفواكه

أو الليفيولوز) والمانوز والجالاكتوز ، ويوجد السكران الأولان بكثرة في صورة غير مرتبطة وذائبين في السيتوبلازم أو في فجوة كل الخلايا النباتية تقريباً ، ويكثر الفركتوز خاصة في كثير من الفواكه حيث تزيد كميته على كل من الجلوكوز والسكروروز ، ويتحول الجلوكوز والفركتوز كل منهما إلى الآخر في النبات بسهولة وسرعة ، كما أنهما مادتا استهلاك أساسية لعملية التنفس . ونواتج تكثف الجلوكوز هي النشا والسليولوز ، ويدخل كذلك في تركيب كثير من السكريات ثنائية وثلاثية ورباعية السكر . أما ناتج تكثف الفركتوز فهو الإنيولين الذي يكون مادة الادخار في كثير من النباتات مثل نباتات الفصيلة المركبة ، ويدخل الفركتوز كذلك في تركيب السكروروز وفي كثير من ثلاثيات ورباعيات السكر .

أما المانوز والجالاكتوز فيوجدان بكميات ضئيلة جداً في صورة حرة ، ولكنهما يدخلان في تركيب بعض عديدات السكر المكونة للجدار الخلوي . ويدخل الجالاكتوز في تركيب اللاكتوز والرافينوز وغيرهما من المواد السكرية.

ثنائيات السكر

وتتكون هذه السكريات بتكاثف جزيئين من جزيئات السكريات أحادية السكر ، وقد يكون الجزيئان المتكاثفان من نوع واحد أو من نوعين مختلفين ويتم التكاثف بانتزاع جزيء من الماء ، وتشترك في الرابطة الجليكوسيدية المتكونة إحدى المجموعتين المختزلتين في السكرين المتحددين على الأقل . وقد تشترك المجموعتان كليهما ، وفي هذه الحالة يكون ثنائي السكر الناتج غير مختزل . وثنائيات السكر الطبيعية مشتقة من الهكسوزات ، ويمثلها القانون الجزيئي (ك_{١٢}يد_{٢٢}١١) ، وأهم ما يوجد منها في النبات السكروروز (سكر القصب) والمولتوز (سكر الشعير) والسلوبوز .

ويعد السكروروز أهم ثنائيات السكر التي توجد منفردة في النباتات الراقية وقد يصل تركيزه في سيقان قصب السكر وجذور البنجر إلى ٢٠ ٪ من وزنها

الرطب ، والسكرورز ليس سكرأ مختزلا ، أى أن الرابطة الجليكوسيدية فيه تتكون من المجموعتين المختزلتين . ويتحلل السكرورز بمساعدة إنزيم السكريرز (Sucrase) أو الإنفرتيز (Invertase) ، وكذلك إذا عومل بحمض مخفف ، وينتج عن التحلل كميّتان متساويتان من الجلوكوز والفركتوز اليمينيين .

والسكرورز أحد النواتج الأولى لعملية البناء الضوئى ، كما أنه يتكون فى الأوراق إذا تركت مدة كافية فى الظلام على محلول من الجلوكوز أو الفركتوز ومعنى هذا أن الخلايا الحية تستطيع تحويل الجلوكوز إلى الفركتوز والعكس ثم بناء السكرورز منهما . ويتم بناء السكرورز فى النبات بمساعدة إنزيم فوسفوريليزى هو فوسفوريليز السكرورز . وفى وجود هذا الإنزيم يتفاعل الجلوكوز - ١ - فوسفات والفركتوز ليكونا السكرورز والفوسفات غير العضوية .

ويساعد الإنزيم التفاعل العكسى كما يساعد التفاعل الطردى ومن ثم توجد فى النبات آليتان لتحليل السكرورز ، على حين لا توجد غير آلية واحدة لبنائه .

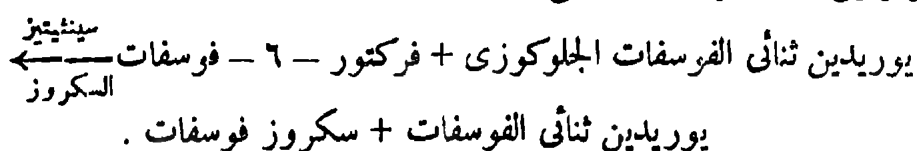
وعلى الرغم من أن وجود إنزيم فوسفوريليز السكرورز فى بعض الكائنات الدقيقة يبرهن على وجود ميكانيكية إنزيمية لتكوين هذا السكر الثانى الهام ، فإن هذا المسار لا يبدو قائماً بالنسبة لبناء السكرورز فى النباتات الراقية . وقد اكتشف فى النباتات الأخيرة مجموعة إنزيمية أخرى تتطلب وجود مرافق إنزيمى من مجموعة نيوكليوتيد اليوريدين واتضح أن لها دوراً فى نقل مجموعة الجلوكوسايل .

وتوجد تلك المجموعة من المرافقات الإنزيمية فى صورة أحادية أو ثنائية أو ثلاثية الفوسفات ، ومن أهم خصائصها أنها تتكشف بسهولة مع مجموعة جلوكوسايل مكونة يوريدين فوسفات الجلوكوسايل كما يلى :

يوريدين ثلاثى الفوسفات + جلوكوز فوسفات ←

يوريدين ثنائى الفوسفات الجلوكوزى + ٢ فوسفات .

وتنقل مجموعة الجلوكوسايل في وجود إنزيم خاص من يوريدين ثنائى الفوسفات الجلوكوزى إلى الفركتوز . ومن ثم يتكون السكروز فوسفات ويوريدين ثنائى الفوسفات كما يلى :



ويتحرر السكروز من السكروز فوسفات بواسطة إنزيم الفوسفاتيز .

والسكر الثانى - وهو المولتوز - يندر وجوده فى النباتات فى حالة حرة ولكنه يتكون عند إنبات البذور الفشوية كحببات الشعير ، وذلك فى أثناء التحليل المائى للنشا المدخر فيها بواسطة الأمليزات . ويتركب جزئىء المولتوز من وحدتين من الجلوكوز ، ترتبط ذرة الكربون الأولى فى إحداهما بذرة الكربون الرابعة فى الأخرى ، وبذلك تبقى المجموعة الألدهيدية المختزلة فى الوحدة الأخيرة فى حالة حرة وعلى ذلك فالمولتوز سكر مختزل ، تعادل قوته الاختزالية نصف القوة الاختزالية لوزن مكافئ من الجلوكوز .

ويتحلل المولتوز مائياً بمساعدة إنزيم المولتيز (Maltase) أو فى وجود حمض ويعطى فى الحالتين جزيئين من الجلوكوز اليمينى .

والسكر الثالث - وهو السلوبيوز - مختزل هو الآخر ، وينتج عن التحليل المائى للسليلوز بمساعدة إنزيم السليوليز (Cellulase) ، وعند التحليل المائى للسلوبيوز ينتج جزيئان من الجلوكوز اليمينى . ويختلف السلوبيوز عن المولتوز فى أنه يتكون بتكاثف جزيئين من بيتا جلوكوز ، أما جزئىء المولتوز فيتكون بتكاثف جزيئين من ألفا جلوكوز . وعلى ذلك فإن الإنزيم الذى يحلل السلوبيوز لابد أن يكون بيتا جلوكوسيديز (B-Glucosidase) مثل الإمالسين .

(عديدات السكر)

هى مركبات كربوهيدراتية معقدة ذات أوزان جزيئية عالية ، وتضم عدة مركبات مألوفة ومنتشرة فى المملكة النباتية . ويتكون جزئىء عديد

التسكر بتكاثف عدد كبير من جزيئات السكر أحادية السكر وغالباً ماتكون الجزيئات المتكاثفة من نوع واحد كما هو الحال في النشا والسيلولوز اللذين يتكونان من الجلوكوز اليميني ، وقد يتكون عديد السكر من نوعين أو أكثر من جزيئات السكريات السابقة كما في المواد الصمغية والمخاطية . وعديدات السكر - على النقيض من السكريات - ليست حلوة المذاق ، كما أن أغلبها لا يذوب في الماء أو يذوب فيه بدرجة ضئيلة ، ويكون بعضها مع الماء محاليل غروانية محبة لوسط الانتثار .

ومن أمثلة عديدات السكر التي توجد في النبات ما يأتي :

النشا : يعد النشا من أكثر المركبات الكربوهيدراتية شيوعاً في النبات فهو مادة الادخار الأساسية في معظم النباتات الراقية ، فيخزن بكميات كبيرة في البذور حيث يستهلك في وقت الإنبات . وكذلك يخزن في الدرنات والجذور ويتكون النشا في الأوراق في أثناء عملية البناء الضوئي ، ويتم تكوينه في البلاستيدات الخضراء ، وقد يتركب فيها ، غير أن تراكمه في هذه الحالة يكون تراكماً مؤقتاً .

وسواء تكون النشا في البلاستيدات الخضراء في الأنسجة النباتية المعرضة للضوء أو في البلاستيدات عديمة اللون في الأنسجة البعيدة عن الضوء ، فإنه يتكون على شكل حبيبات مجهرية تتفاوت شكلاً وحجماً في النباتات المختلفة ، وقد سبق شرح ذلك بالتفصيل في الباب السابع الخاص بالخلية النباتية .

ويتحلل النشا عند غليه مع الأحماض المخففة ، ونظراً لتعدد جزيئاته فإن التحليل لا يتم في مرحلة واحدة بل على عدة خطوات ، يتكون في كل منها دكسترين أقل تعقيداً من سابقه ، وتنتهي عملية التحليل بتكون الجلوكوز . وعلى حين يعطى النشا لوناً أزرق إذا عومل بمحلول اليود في يوديد البوتاسيوم فإن نواتج تحلله لا تعطى هذا اللون ، فالدكستريانات المعقدة تعطى مع اليود لوناً أرجوانياً ، أما الدكستريانات البسيطة فلا تعطى أى لون . وثنائى السكر الوحيد الذى ينتج عند تحليل النشا هو المولتوز ، مما يوحى بأن الروابط في

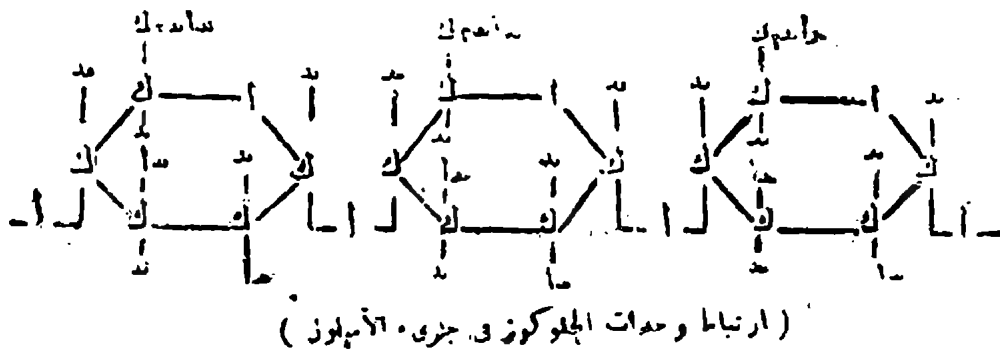
جزء النشا هي من نفس النوع الذي يوجد بين وحدتي الجلوكوز في جزىء المولتوز .

ويتركب النشا في الواقع من مادتين هما الأميلوز (Amylose) والأميلوبكتين (Amylopectin) . ويكون الأميلوز نسبة تتراوح بين صفر و ٣٥٪ من وزن النشا ، وتتوقف تلك النسبة على نوع النبات ، فنشا البطاطس مثلاً يحتوى على ٢٠٪ أميلوز ، أما نشا البسلة الناعمة فيحتوى على ٣٥٪ منه .

وتختلف المادتان في خواصهما الطبيعية ، فالأميلوز أكثر ذوباناً في الماء وأقل لزوجة في المحلول من الأميلوبكتين ، كما أنه يعطى مع محلول اليود في يوديد البوتاسيوم لوناً شديداً الزرقة ، أما الأميلوبكتين فيعطى معه لوناً خفيفاً من الأزرق البنفسجى . كذلك تختلف المادتان بالنسبة لتأثير إنزيم « بيتا أميليز » (B-amylase) ، فعلى حين يتحلل الأميلوز جميعه إلى سكر المولتوز فإن الأميلوبكتين يتحلل إلى مخلوط من المولتوز والدكسترين . ويعزى هذا الاختلاف في خواص المادتين إلى الاختلاف في تركيب جزيئتهما ، فجزئ الأميلوز يتكون من سلسلة مستقيمة غير متفرعة ترتبط فيها جزيئات الجلوكوز (ألفا جلوكوز) بعضها مع بعض بواسطة ذرات الأكسجين ، ويحدث الارتباط بين ذرة الكربون (١) في جزئ وذرة الكربون (٤) في جزئ الجلوكوز الذي يليه .

وتحتوى سلسلة جزئ الأميلوز على ٣٠٠-١٠٠٠ وحدة جلوكوز .

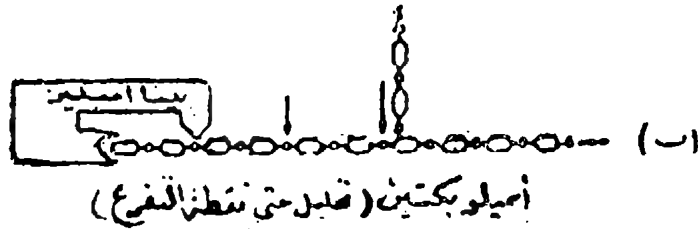
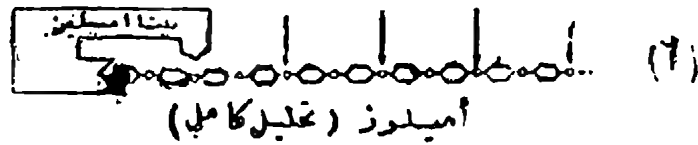
أما جزئ الأميلوبكتين فأكثر تعقيداً ، ليس لاحتوائه على عدد أكبر



من وحدات الجلوكوز فحسب ، ولكن لتكونه من سلاسل كثيرة التفرع .
وقد تحمل كل سلسلة فرعية في جزئ الأميلوبكتين سلاسل فرعية أخرى .
ويبلغ عدد وحدات الجلوكوز في الجزئ ٢٠٠٠ وحدة أو أكثر .

والطريقة التي يحلل بها الإنزيم « بيتا أميليز » مادتي النشا تعتمد كثيراً على هذا التركيب المقترح . فعندما يهاجم الإنزيم سلاسل الأميلوز غير المتفرعة فإنه يفصل من أطرافها بالتدرج وحدات من سكر المولتوز حتى يتم تحليلها (شكل ٣٧٣ : أ) ، أما مهاجمته للأميلوبكتين فتقتصر على السلاسل الطرفية فقط ، يفصل منها وحدات المولتوز ثم يقف فعل الإنزيم عند نقط التفرع (شكل ٣٧٣ : ب) ويكون الجزئ المركزي المتبقى هو الدكستارين الناتج عند التحلل .

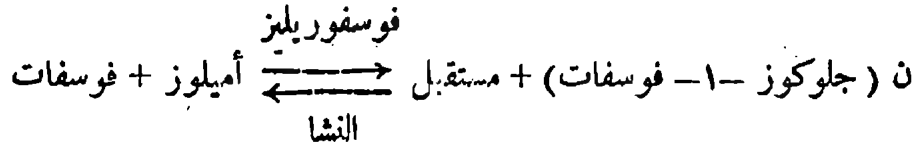
(شكل ٣٧٣)



الطريقة التي يهاجم بها إنزيم « بيتا أميليز » جزئى الأميلوز (أ)
والأميلوبكتين (ب) . (عن حاسيد) .

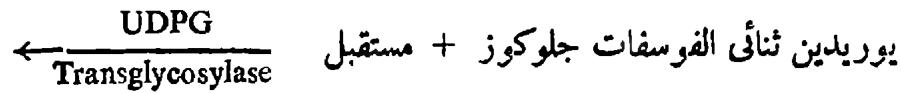
ويتحلل النشا بإنزيم أميليز آخر هو « ألفا أميليز » ، ويكون ناتج التحليل في هذه الحالة دكستريانات تتركب جزئياتها من ست أو إثنتى عشرة وحدة جلوكوز . ويقتصر عمل هذه الأميليزات في النبات على تحليل النشا ، أى أنها لا تساعد الاتجاه البنائى . والمعروف الآن أن بروتين النشا يتم من الجلوكوز - ١ - فوسفات في وجود إنزيم آخر هو فوسفوريلاز النشا . الذى أثبت هينز (Hanes) - عام ١٩٤٠ - وجوده في بذور البسلة ودرنات

البطاطس وفي كثير من الأنسجة النباتية ، ومن بينها أنسجة الأوراق الخضراء التي يتكون فيها النشا . وتمثل المعادلة الآتية طبيعة التفاعل الذي يحدث في وجود هذا الإنزيم وفيه تضاف وحدات الجلوكوز واحدة بعد الأخرى إلى الطرف غير المختزل للجزء مستقبل ، ومن ثم يتم بناء جزئ أميلوز .



ويساعد الإنزيم الاتجاه التحليلي كما يساعد الاتجاه البنائي ، ويتوقف ذلك على التركيزات النسبية للمواد المتفاعلة .

وثمة إنزيم آخر قادر على تكوين روابط (ألفا ١-٤) بإضافة وحدات من الجلوكوز إلى جزئ بادئ (Primer molecule) هو ترانس جلوكوزيلاز يوريدين ثنائي الفوسفات جلوكوز ، وقد اكتشف وجوده في نباتات الفول والذرة والبطاطس حيث اتضح أنه يعمل على نقل الجلوكوز من يوريدين ثنائي الفوسفات جلوكوز إلى جزئ بادئ (٣ وحدات ألفا ١-٤ جلوكوز أو أكثر) ، وهكذا تتتابع إضافة روابط جلوكوسيدية من النوع ألفا ١-٤ على النحو التالي :

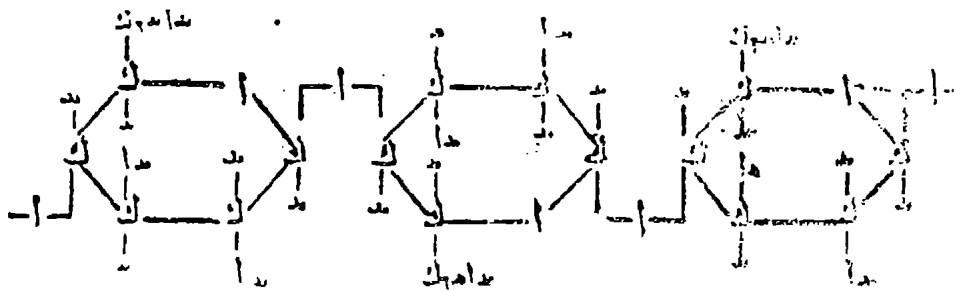


يوريدين ثنائي الفوسفات + ألفا (١-٤) جلوكوسايل المستقبل والإنزيمات السابقة قادرة على بناء الروابط الجليكوسيدية ألفا (١-٤) . أما الروابط ألفا (١-٦) الموجودة في النشا فيقوم ببنائها إنزيم آخر يعرف بإنزيم Q وقد ثبت وجوده في البطاطس ، ويعمل هذا الإنزيم على ربط سلاسل صغيرة من نوع الأميلوز بذرة الكربون السادسة في جزئ مستقبل ، وهكذا تتكون الفروع التي تميز الأميلوبكتين .

السليولوز : وهو المركب الأساسي في جدر خلايا النباتات الراقية ، ويوجد في حالة نقية تقريباً في جدر ألياف القطن ، ولكنه يختلط عادة بغيره

من المواد الكيوتين في خلايا البشرة في أعضاء النبات الهوائية ، وكالجنين في الأوعية الخشبية .

وجزيئات السيليلوز عبارة عن سلاسل طويلة ومستقيمة ، تتكون بتكثف جزيئات بيتا جلوكون ، ولا يقل ما يحتويه جزيء السيليلوز منها عن ١٠٠٠ وحدة ، تتصل بعضها مع بعض بذرات أكسيجين تربط بين ذرة الكربون (١) في جزيء وذرة الكربون (٤) في الجزيء الذي يليه كما يتضح مما يلي :

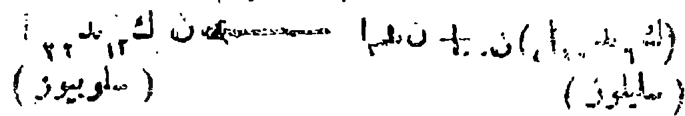


(ارتباط و حدائق الملوکوزی جریء السبلور)

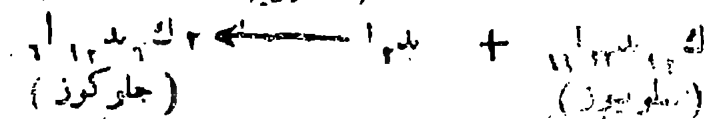
ولا يذوب السليلوز في الماء ولا في المذيبات العضوية ، ولكنه يذوب في إيدروكسيد النحاس النوشادري ، ويتحلل تدريجياً في وجود حمض الكبريتيك المركز معطياً الجلوكوز ، أما الحمض المخفف فيسبب انتفاخه وتحوله إلى السليالوز المائي (Hydrocellulose) . ولا يعطى السليلوز لوناً أزرق مع اليود إلا إذا عومل بحمض الكبريتيك المركز أولاً .

ويتحلل السليولوز مائياً بمساعدة إنزيم السليوليز وينتج عن التحلل سكر السلوبيوز - وهو ثنائى تسكر - يتحلل مائياً إلى جزيئين من الجلوكوز فى وجود إنزيم السلوبيز (Cellobiase) . وتمثل المعادلتان الآتيتان ما يحدث من تفاعل :

(الشيخ ابن)



(السلويين)



والإنزيمات المحللة للسليولوز ليست واسعة الانتشار كالأميليزات ، فهي لا توجد في النباتات الراقية ، بل يقتصر وجودها على بعض الكائنات الدقيقة كالـبكتيريا وبعض الفطريات .

(ب) الأيض النيتروجيني

بالرغم من أن مركبات النيتروجين توجد في النبات بكمية أقل من المواد الكربوهيدراتية ، إلا أنها تعتبر في المرتبة الأولى من الأهمية ، إذ أن بعض هذه المركبات - وهي البروتينات - تكون جزءاً أساسياً من البروتوبلازم نفسه ، وكذلك فإن الإنزيمات التي تقوم بأور هام في وظائف الحياة المختلفة ليست إلا مركبات بروتينية ، وتوجد البروتينات أيضاً في الخلايا النباتية على شكل غذاء مدخر ، وخاصة في بذور كثير من النباتات وفي الدرنات . وبالإضافة إلى البروتينات - التي تساهم بالنصيب الأوفر في بناء جسم النبات - يوجد عدد من المركبات النيتروجينية الأخرى يؤدي بعضها دوراً هاماً في سائر العمليات الحيوية . ومن هذه المركبات المادة الخضراء (الكلوروفيل) والفيتامينات - التي تكون المراكز الفعالة للإنزيمات - وهومونات النمو والقلويدات .

والطريقة التي يتم بها بناء البروتينات وغيرها من المركبات النيتروجينية المعقدة من المركبات النيتروجينية البسيطة - التي يمتصها النبات من التربة - ليست معروفة على وجه التحديد ، كما هو الحال بالنسبة للمواد الكربوهيدراتية . وسنبدأ بدراسة مختصرة لطبيعة وخواص البروتينات ، ثم نتناول بعد ذلك بشئ من التفصيل تحولات المواد النيتروجينية وأطوار البناء البروتيني .

البروتينات

البروتينات (Proteins) مركبات عضوية معقدة التركيب تتكون من الكربون (٥٠-٥٤ ٪) والإيدروجين (حوالي ٧ ٪) والنيتروجين (١٦-١٨ ٪) والأكسجين (٢٠-٢٥ ٪) . وتحتوي كل البروتينات النباتية

تقريباً - بالإضافة إلى هذه العناصر - على نسبة ضئيلة من الكبريت لا تزيد على ٢٪ ، كما أن بعضها - وخاصة البروتينات النووية التي توجد في الخلايا الحية - يدخل في تركيبها الفوسفور .

وجزيئات البروتين كبيرة غاية الكبر ، حتى أن الوزن الجزيئي للجزيئات الصغيرة فيها يبلغ حوالى ١٦٠٠٠ ، أما جزيئات البروتينات المعقدة فتبلغ أوزانها الجزيئية عدة ملايين . وقد قدر الوزن الجزيئي لبروتين الفيروس المسبب لمرض التبقع في التبغ بحوالى ٤٠ مليوناً .

وعلى الرغم من أن بعض البروتينات توجد في صور ذائبة تماماً ، أو في صورة متبلورة ، فإن معظمها تكون مع الماء محلولاً غروانياً شبه مستحلب وتختلف أنواع البروتينات بالنسبة لذوبانها في الماء ومحاليل الأملاح ، وترسب البروتينات الذائبة بفعل المحاليل المركزة للأملاح المتعادلة مثل كلوريد الصوديوم وكبريتات النشادر وكبريتات الماغنيسيوم ، ولكنها تعود إلى الانتشار مرة ثانية إذا ما خففت هذه المحاليل بالماء . وتتجمد البروتينات بالحرارة ويكون تجمدها غير عكسى ، فإذا ما سخنت في الماء إلى درجة حرارة ٥٠-١٠٠°م ظهر راسب ضخم من البروتين لا يعود إلى الذوبان بالتبريد .

وتتكون البروتينات بتكثف عدد من الأحماض الأمينية ، وقد تشترك في تركيب جزيئاتها مجموعات أخرى . وإذا عوملت البروتينات بالأحماض أو القلويات أو الإنزيمات المناسبة فإنها تتحلل ، وينتج عن التحلل التام لجزيئاتها خليط من الأحماض الأمينية ، ولا يتم هذا التحلل دفعة واحدة بل على عدة خطوات ، تتكون في كل منها مواد على درجة من التعقيد متوسطة بين البروتينات والأحماض الأمينية . وعلى حسب درجة التعقيد تتميز هذه المواد إلى : ميتابروتينات (Metaproteins) وبروتيازات (Proteases) وبيتونات (Peptones) وعديدات الببتيد (Polypeptides) ، وكل مادة أو مجموعة من هذه المواد أقل تعقيداً من السابقة لها . وليس من السهل وضع حد فاصل بين البروتينات الحقيقية والمواد البسيطة ذات الصفات البروتينية التي تنتج عند

تحللها ، ولذلك كثيراً ما يطلق على البروتينوزات والبيتونات وعديدات الببتيد اسم « البروتينات المشتقة » (Derived proteins) .

وتنقسم البروتينات الحقيقية في النبات إلى :

١ - بروتينات بسيطة (Simple proteins) : وهي التي تنتج عند تحليلها أحماض أمينية أو مشتقاتها فقط . وأهم ما يوجد من هذه البروتينات في النبات هي : الألبومينات (Albumens) والجلوبيولينات (Globulins) والبرولامينات (Prolamins) والجلوتيلينات (Glutelins) .

وتحتوى كل هذه البروتينات على نسبة ضئيلة من الكبريت ، تغزى إلى دخول الحمض الأميني « سيستين » (Cystine) الذي يحتوى على الكبريت في جزيئاته . وتوجد المجموعتان الأوليان من هذه البروتينات بكثرة في النباتات . والبروتين المدخر في معظم البذور يتألف أغلبه من الجلوبيولينات ، إلا أن الأخيرة لا توجد إلا نادراً في الحبوب ، حيث يتكون البروتين المدخر من البرولامينات غير الذائبة .

٢ - البروتينات التزاوجية (Conjugated proteins) : وهي التي تنتج عند تحليلها مواد أخرى علاوة على الأحماض الأمينية . وأهم بروتينات هذا القسم هي البروتينات النووية (Nucleoproteins) التي توجد في بروتوبلازم كل الخلايا كما تكون المادة الكروماتينية في الأنوية . وتتكون البروتينات النووية باتحاد البروتينات مع الأحماض النووية .

ويوجد في النباتات عدد كبير من البروتينات المختلفة ، يختص كل نوع من النباتات بأنواع معينة منها ، وقد تشابه البروتينات في الأنواع المتقاربة من النباتات إلى حد كبير .

ولما كانت البروتينات تتكون أساساً من الأحماض الأمينية فقد أصبح من الضروري أن نتناول بالشرح طبيعة وخواص هذه الأحماض قبل المضي في التحدث عن البروتينات .

الأحماض الأمينية

هي أحماض عضوية حلت فيها مجموعة أو أكثر من مجموعات الأمين (ن يدم) محل ذرة أو أكثر من إيدروجين المجموعات غير الكاربوكسيلية . وأبسط هذه الأحماض الأمينية هو الجلايسين (Glycine) أو حمض أمينو الخليك ويتكون هذا الحمض بإحلال مجموعة أمين محل ذرة إيدروجين واحدة من مجموعة الميثيل في حمض الخليك .

ك يدم . ك ا ا يد	ك يدم (ن يدم) . ك ا ا يد
(حمض الخليك)	(الجلايسين)

وفي الأحماض الأمينية الطبيعية ترتبط مجموعة الأمين — أو إحدى مجموعات الأمين إذا كان الحمض يحتوي على عدد منها — بذرة الكربون « ألفا » التي تلي المجموعة الحمضية (ك ا ا يد) . والمعروف من الأحماض الأمينية التي تكون البروتينات عشرون ، وثمة عدد آخر يعتقد بعض الباحثين في وجودها حرة ولا تدخل في بناء البروتين ، وإن كانت حقيقة هذه الأحماض لم تثبت بعد .

ومجموعة الأمين قاعدية التفاعل أما مجموعة الكاربوكسيل فحمضية ، وعلى ذلك فالأحماض الأمينية تسلك مسلك الأحماض والقواعد . والأحماض الأمينية نشيطة في تفاعلاتها ، يتحد بعضها مع بعض بسهولة لتكوين جزيئات أكبر ، ويتم الارتباط بين مجموعة الكاربوكسيل في جزيء ومجموعة الأمين في جزيء آخر وينطلق جزيء من الماء ، وتعرف الرابطة المتكونة برابطة الببتيد (Peptide linkage) — ك ا ن يد —

وعدد وحدات الأحماض الأمينية في جزيء البروتين كبير ، يصل في بعض الأحيان إلى بضع مئات تربطها روابط ببتيدية . وتختلف البروتينات اختلافاً كبيراً بالنسبة لنوع وعدد الأحماض الأمينية التي تكون جزيئاتها ، وليس من المحتم أن يشمل جزيء أى نوع من البروتين كل الأحماض الأمينية المعروفة .

صور النيتروجين التي يستعملها النبات ومصادرها :

تحصل النباتات الخضراء الراقية على حاجتها من عنصر النيتروجين بامتصاصها لمركباته التي توجد ذائبة في ماء التربة ، ولا يستثنى من هذه القاعدة إلا نباتات الفصيلة القرنية وقلة من أنواع النباتات التابعة لفصائل أخرى ، هي التي تستطيع دون غيرها من النباتات الراقية استعمال النيتروجين الجوى مباشرة ، وذلك بفضل البكتيريا العقدية التي تعيش في جذورها وتبادل معها المنفعة .

والمركبات النيتروجينية التي توجد في التربة وتمتصها النباتات الخضراء ذاتية التغذية هي : النترات والنيتريت وأملاح النوشادر والمركبات النيتروجينية العضوية . وتتكون هذه المركبات في التربة الطبيعية نتيجة لتحلل المواد العضوية ، مثل بقايا النباتات والحيوانات وما يضاف إلى التربة من أسمدة عضوية كالسماد البلدى وغيره . ويقوم بعملية التعفن والتحلل أنواع كثيرة من الكائنات الدقيقة التي تعيش في التربة ، وسيرد ذكر بعضها في نهاية هذا الباب .

وعند دراسة امتصاص النباتات للأنواع السابقة من المركبات النيتروجينية باستعمال المزارع المائية والرملية اتضح أن أملاح النوشادر والنترات هي أكثر هذه المركبات تعرضاً للامتصاص والاستنفاد ، وكثيراً ما تضاربت الآراء حول أفضليتهما للنبات . ويبدو أن الأنواع المختلفة من النباتات تتفاوت من حيث استعمالها لهذه المركبات النيتروجينية غير العضوية .

مراحل البناء البروتينى

تتضمن عملية البناء البروتينى مجموعة من التفاعلات يتم بوساطتها تحويل ما يمتص من نترات أو أملاح نوشادر إلى بروتين ، ويبدو أن عملية البناء تتطلب نوعاً من الارتباط بين هذه المركبات النيتروجينية غير العضوية وبين المواد الكربوهيدراتية أو مشتقاتها . وعلى الرغم من أن هذا يحدث أساساً في

أعضاء التمثيل ، فليس هناك ما يدعو إلى الاعتقاد بأن البناء البروتيني لا يحدث في غير هذه الأعضاء ، ما دامت المواد الضرورية متوفرة .

وحيث أن النيتروجين موجود في البروتينات في صورة مختزلة (-نيدم) ، فإنه قد يتبادر إلى الذهن أن أملاح النوشادر تكون أكثر ملائمة لعملية البناء البروتيني من النترات ، غير أن ذلك لا يتفق دائماً مع الواقع فالنترات كمصدر للنيتروجين تعادل أملاح النوشادر ، إن لم تفضلها في كثير من الأحيان . ومن المعتقد أن النترات الممتصة تختزل أولاً إلى النيتريت ثم تختزل الأخيرة إلى النوشادر الذي يتفاعل مع الأحماض غير النيتروجينية المشتقة من الكربوهيدرات ليكون الأحماض الأمينية . وتتكون البروتينات بتكاتف عدد من هذه الأحماض الأمينية .

يمكن إذن ، على ضوء ما سبق ، تقسيم عملية البناء البروتيني إلى المراحل الآتية :

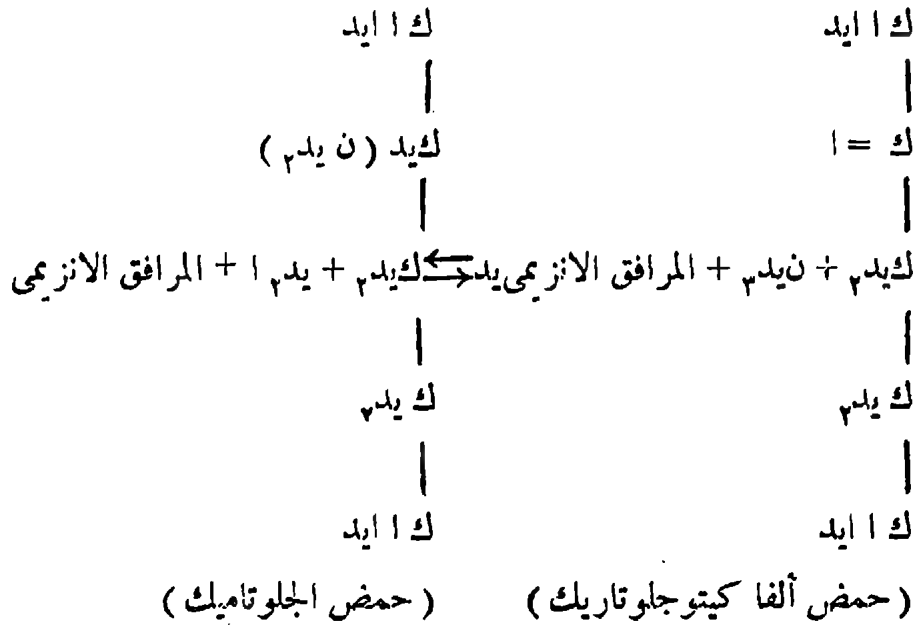
(١) اختزال مجموعة النترات (ن٣) إلى مجموعة الأمين (نيدم)

والخطوات التي تسلكها عملية اختزال النترات هي :

نترات ← نيتريت ← نوشادر

ويساعد على اختزال النترات أنزيمين هما ريدكتيز النترات والنيتريت .

(٢) اتحاد مجموعات الأمين مع المركبات المشتقة من السكر الناتج من البناء الضوئي لتكوين عدد من الأحماض الأمينية . فحمض الجلوتاميك مثلاً - وهو من الأحماض الأمينية التي تؤدي دوراً أساسياً في الأيض النيتروجيني يتكون في الخلايا النباتية بتفاعل النوشادر ، الذي ينتج عادة من اختزال النترات ، مع الحمض الكيتوني ألفا كيتوجلوتاريك (α -Ketoglutaric acid) الذي يتكون في أثناء تفاعلات دورة كربس ، وتوضح المعادلة الآتية التفاعل الذي يحدث :

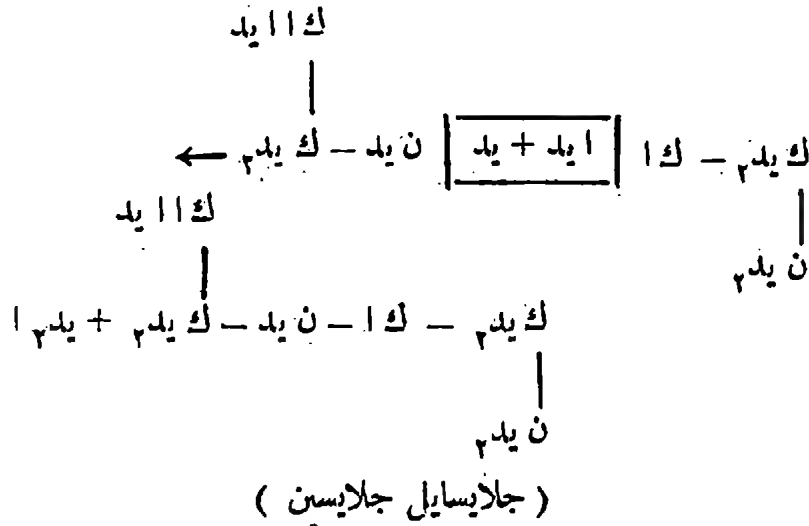


(حمض ألفا كيتوجلوتاريك) (حمض الجلوتاميك)

ويساعد هذا التفاعل إنزيم ديهيدروجينيز الجلوتاميك (Glutamic dehydrogenase) ، وهو شائع الانتشار في النبات والحيوان على السواء ، ويتطلب عمله وجود المرافق الانزيمي . ويعرف مثل هذا التفاعل بالاختزال الأميني (Reductive amination) ، أى اختزال الحمض الكيتوني بإدخال مجموعة الأمين في جزيئه . ومن الممكن أن تتكون أحماض أخرى بنفس الطريقة مثل تكون حمض الأسبارتيك من حمض الأكسالوخليك ، والألانين من حمض البيروفيك .

وليس بناء الأحماض الأمينية في النبات مقصوراً على مثل التفاعل السابق بل إن حمض الجلوتاميك يمكن أن يمنح مجموعة الأمين إلى مركبات أخرى ليكون أحماضاً أمينية جديدة ، وتعرف هذه العملية بالانتقال الأميني (Transamination) ، ومن أمثلتها ما يحدث بين حمض الجلوتاميك وحمض الأكسالوخليك ويؤدي إلى تكوين حمض ألفا كيتوجلوتاريك وحمض الأسبارتيك . وقد تمكن ويلسون ورفاقة - عام ١٩٥٤ - من تكوين ١٧ حمضاً أمينياً مختلفاً بتفاعل حمض الجلوتاميك مع الأحماض الكيتونية المناسبة . وتساعد مثل هذه التفاعلات مجموعة من الإنزيمات تعرف بناقلات الأمين (Transaminases) .

(٣) تكاثف الأحماض الأمينية لتكوين جزيء البروتين . ويتم ارتباط الأحماض الأمينية بعضها مع بعض عن طريق المجموعات الأمينية (الفا) والكاربوكسيلية . وقد نجح إميل فيشر (Emil Fisher) في بناء عديدات ببتيد تنتظم فيها الأحماض الأمينية في سلاسل . وأولى مراحل بناء عديد الببتيد هي ربط حمضين أميين في مركب أطلق عليه فيشر «ثنائي الببتيد» (Dipeptide) وذلك مثل الجلايسايل جلايسين (Glycyl-glycine) والألانيلاين (Alanyl-alanine) ، وفي كل منهما ترتبط مجموعة الكاربوكسيل في أحد الحمضين بمجموعة الأمين في الحمض الآخر ، أي تتكون بينهما رابطة ببتيدية فثلا عند تكوين ثنائي الببتيد الجلايسايل جلايسين :



يلاحظ أن ثنائي الببتيد المتكون ما زال يحتوي جزيؤه على مجموعة أمينية وأخرى كاربوكسيلية في حالة حرة أي قابلة للاتحاد ، فإذا اتحدت إحدى المجموعتين الطليقتين بحمض أميني ثالث تكون «ثلاثي الببتيد» (Tripeptide) الذي يحتفظ هو الآخر بمجموعتين حرتين أمينية و كاربوكسيلية أي أن جزيء ثلاثي الببتيد ما زال يقبل الاتحاد بجزيئات أخرى من الأحماض الأمينية ، فإذا أضيف إليه حمض أميني رابع تكون «رباعي الببتيد» (Tetrapeptide) ، ويستمر تكاثف جزيئات الأحماض الأمينية على هذا النمط حتى يتكون عديد الببتيد (Polypeptide) ، وقد تمكن فيشر من تحضير عديد ببتيد يحتوي على

١٨ وحدة من الأحماض الأمينية ، ووجد أن هذه المركبات المحضرة صناعياً تشبه البروتينات في خواصها الفيزيائية والكيميائية .

وتحتوى أصغر الجزيئات البروتينية على عدة مئات من وحدات الأحماض الأمينية ، تمثل بعض أو كل الأحماض الأمينية المعروفة مكررة عدة مرات . والطريقة التي تنتظم بها وحدات الأحماض الأمينية في جزيء البروتين ليست معروفة على وجه التحديد ، وإن كان المعتقد أن بروتينات البروتوبلازم بوجه عام تنتظم جزيئاتها في سلاسل طويلة . إلا أنه في معظم البروتينات لا تكون السلاسل الجزيئية مستقيمة بل تلتف وتنطوى كثيراً بحيث ينشأ جزيء البروتين متضاغطاً شديد التعقيد . وتعرف البروتينات في هذه الحالة بالبروتينات الكروية ، وذلك لأن جزيئاتها تأخذ شكلاً كروياً تقريباً .

ويختص كل نوع من النباتات أو الحيوانات بنوع خاص من البروتينات يميزها عن سائر الأنواع الأخرى ، وعلى ذلك فلا بد أن يوجد عدد كبير من البروتينات المختلفة . فإذا تبينا ما سبقت الإشارة إليه من اختلاف عدد الأحماض الأمينية في جزيء البروتينات فإن التعدد العظيم في أنواعها يصبح أمراً مفهوماً .

تثبيت النيتروجين

سبق أن ذكرنا أن النباتات الراقية — فيما عدا البقيات (القرنيات) وقلة من النباتات الأخرى — تحصل على النيتروجين اللازم لها من التربة في صورة مركبات تحتوى على هذا العنصر وعلى ذلك فإن محتواها النيتروجينى يتناقص باستمرار ، إلا أن هذا النقص يكون دائماً أقل مما تكتسبه النباتات من نيتروجين التربة . ولما كانت الصخور التي تكونت منها التربة لا تحتوى على النيتروجين فإنه يصبح من الواضح أن هناك طريقة ما تتجدد بواسطتها المركبات النيتروجينية باستمرار . ويتم ذلك أساساً بتثبيت النيتروجين الجوى ، ويقوم بهذه العملية بعض كائنات التربة الدقيقة — وهى البكتيريا المثبتة للنيتروجين —

وقد وجد أن هناك مجموعتين من البكتيريا يثبتان كميات كبيرة نسبياً من النيتروجين الجوي في صورة مركبات عضوية ، وهاتان المجموعتان هما :

(١) بكتيريا تكافلية (Symbiotic bacteria) وهي التي تعيش في جذور النباتات القرنية وما إليها .

(٢) بكتيريا رمية (Saprophytic bacteria) وهي تتطلب مصدراً خارجياً للغذاء تحصل منه على الطاقة اللازمة لها حتى يمكنها القيام بعملية التثبيت.

وإلى جانب ذلك توجد أنواع من البكتيريا والفطريات والطحالب الخضراء المزرققة تستطيع تثبيت النيتروجين الجوي ، إلا أن ذلك لا يعد شيئاً مذكوراً بالقياس إلى ما تثبته كائنات التثبيت الحقيقية .

وقد ورد شرح هاتين المجموعتين في باب سابق .

دورة النيتروجين

يوجد في التربة بالإضافة إلى البكتيريا المثبتة للنيتروجين أنواع أخرى من البكتيريا تقوم بكثير من التحولات الخاصة بالمواد النيتروجينية ، وأهم هذه التحولات هي :

١ - النشطرة (Ammonification) : تكوين النوشادر من البقايا النباتية والحيوانية .

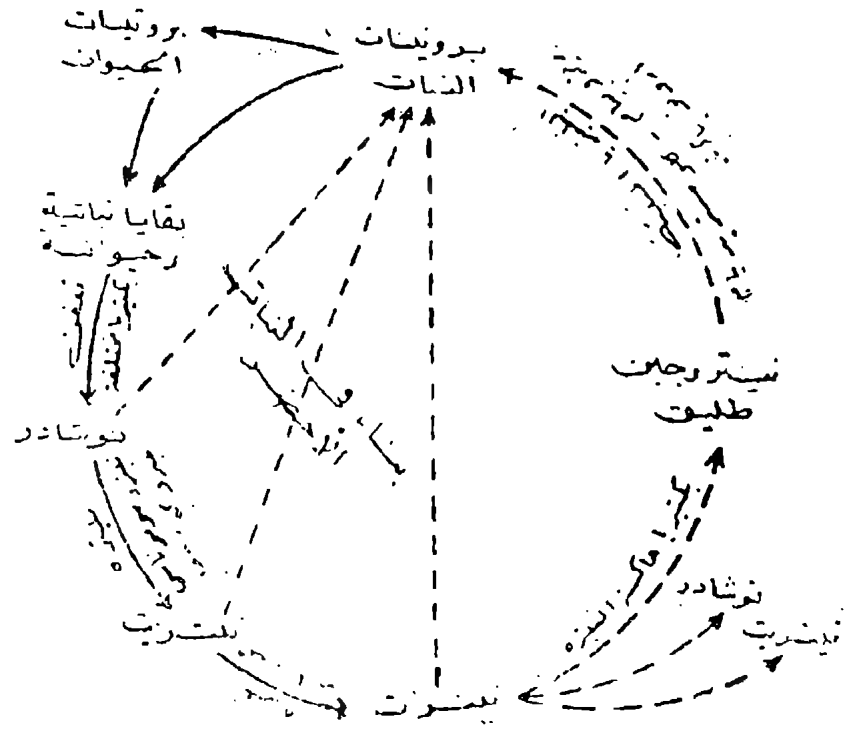
٢ - النيرة (Nitrification) أو تكوين النترات من النوشادر .

٣ - انطلاق نيتروجيني (Denitrification) أو تحليل النترات .

وقد سبق لنا أن شرحنا هذه التحولات بالتفصيل في باب سابق .

على أنه يمكن تلخيص هذه التحولات المعقدة للصور المختلفة من المركبات النيتروجينية - عضوية كانت أو غير عضوية - فيما يعرف بدورة النيتروجين (Nitrogen cycle) في الطبيعة (شكل ٣٧٤) .

(شكل ٣٧٤)



دورة النيتروجين في الطبيعة

(ج) الأيض الدهني

تكثر المواد الدهنية في النباتات حتى لا تكاد تخلو منها خلية نباتية ، فهي علاوة على كونها مكونات أساسية للبروتوبلازم تعتبر من المواد الغذائية الرئيسية . والدهون الحقيقية التي تكون الغذاء المدخر في أعضاء التخزين ليست إلا قسماً واحداً من مجموعة المواد الدهنية التي أصبحت تعرف بالليبيدات (Lipids) ، إذ تضم الأخيرة مواد أكثر تعقيداً ترتبط فيها المجموعات الدهنية بمجموعات أخرى تحتوى إلى جانب الكربون والهيدروجين والأكسجين - التي تتكون منها الدهون الحقيقية - على عناصر أخرى ، وعلى الأخص النيتروجين والفوسفور .

ويمكن حسب التركيب الكيميائي للمواد الدهنية تمييز الأقسام الآتية :-

(١) الدهون الحقيقية (True fats) : وهي استرات الجليسرين

والأحماض الدهنية . وتنتمي إليها الدهون والزيوت . وهى مواد متشابهة كيميائياً ولا تختلف إلا فى الخواص الفيزيائية ، فالأولى صلبة فى درجة الحرارة العادية ، أما الثانية فسائلة ، وهذا القسم من المواد الدهنية هو الذى يكون مادة الادخار ، وهو الذى سنتناوله بالشرح فيما بعد .

(٢) الشموع (Waxes) : وهى استرات الأحماض الدهنية وكحولات غير الجليسرين .

(٣) الفوسفوليبيدات (Phospholipids) : وهى مواد دهنية معقدة التركيب تتحد فيها مجموعات الدهون بمجموعات أخرى تحتوى على النيتروجين والفوسفور . ومن أهم أمثلة هذه المواد الليسيثين (Lecithin) والسيفالين (Cephalin) .

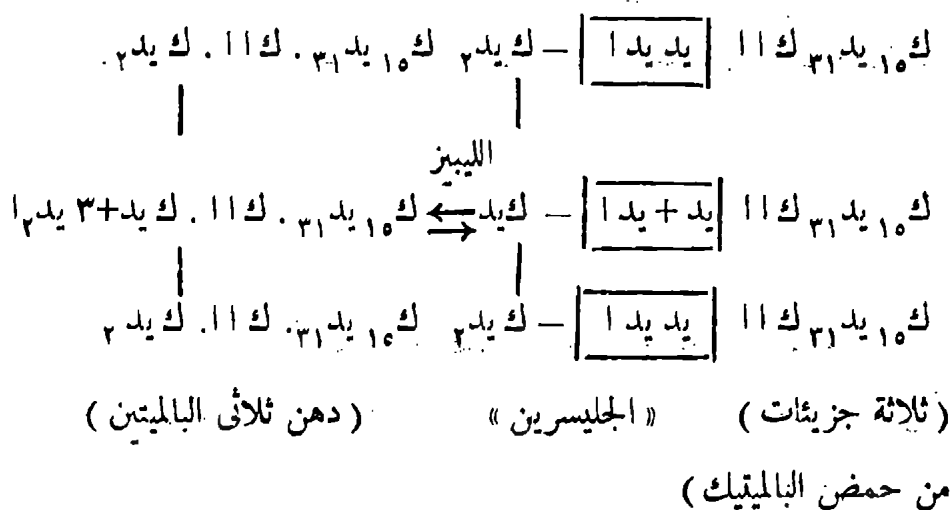
الدهون

تكون الدهون مادة ادخار أساسية فى بذور كثير من النباتات ، إذ ترسب فيها أثناء نضجها ، ثم تعود فتستعمل كمصدر للطاقة فى الأدوار الأولى للإنبات . ويدخر الدهن إما فى الفلقات كما فى فول الصويا وعباد الشمس أو فى الإندوسبرم كما فى النخيليات . وفى الحبوب يقتصر وجود هذه المواد على الجنين ، أما الإندوسبرم فلا يحوى إلا قدرأ ضئيلاً منها أو لا يحوى شيئاً منها على الإطلاق .

وتوجد الدهون أيضاً فى الأوراق والسيقان والجذور والثمار والأزهار وحتى فى حبوب اللقاح . ويمكن القول عموماً إن الدهون توجد بتركيزات عالية فى البذور والأنسجة اللحمية للثمرة وبتراكيز منخفضة فى أعضاء النبات الخضرية ، وفى كثير من البذور يكون الدهن ٣٥ - ٥٠ ٪ من الوزن الجاف . ولهذا تستخرج الدهون والزيوت - التى تستخدم كغذاء للجنس البشرى من البذور كبذور السمسم والفول السودانى وفول الصويا والقطن ، كما تستخرج كذلك من الثمار كثمار الزيتون وجوز الهند وغيرهما .

والدهون مواد غير قابلة للذوبان في الماء ، وعلى ذلك فهي توجد في الخلايا النباتية على شكل قطرات أو حبيبات صغيرة منتشرة في السيتوبلازم . وهذه القطرات أو الحبيبات من الكبير بحيث يمكن رؤيتها بالفحص المجهرى ، وخاصة إذا صبغت ببعض أنواع الأصباغ مثل سودان ٣ (Sudan III) .

أما من الوجهة الكيميائية فالدهن عبارة عن إستر (Ester) يتكون باتحاد جزيء من الجليسرين - وهو كحول يحتوى على ثلاث مجموعات إيدروكسيلية مع ثلاثة جزيئات من حمض دهني ويخرج ثلاثة جزيئات من الماء . فإذا كان الحمض الدهني هو حمض البالميتيك مثلاً فإن التفاعل تمثله المعادلة الآتية :



وفي العادة لا تكون جزيئات الأحماض الدهنية المشتركة في تكوين جزيء الدهن من نوع واحد - كما هو الحال في البالميتين - بل تنتمي إلى نوعين أو ثلاثة أنواع مختلفة ، والأغلب أن يكون جزيء الجليسرين مرتبطاً في جزيء الدهن بأحماض دهنية مختلفة . والدهون التي توجد في الطبيعة ليست في العادة إلا مخاليط لعدة أنواع من الدهون ذات التركيب الكيميائي المختلف ، والبالميتين هو أحد هذه الأنواع الشائعة . والأحماض الدهنية التي توجد في الكائنات الحية تحتوي جزيئاتها على عدد زوجي من ذرات الكربون مرتبطة مع بعضها البعض في سلاسل طويلة ، وتوجد المجموعة الحمضية على أحد جانبي السلسلة أما بقيتها فتتكون من عنصرى الكربون والإيدروجين فقط .

وتتميز الأحماض الدهنية إلى مجموعتين : مشبعة وغير مشبعة ،
فالأحماض الدهنية المشبعة (Saturated) تكون جميع ذرات الكربون فيها
— باستثناء مجموعة الكاربوكسيل الطرفية — مخترلة تماماً إلى الحد (ك يدم) أو
(ك يدم) ، أى أنه لا توجد روابط مزدوجة في جزيئات هذا النوع من
الأحماض ، ومثلها أحماض اللوريك والميريستيك والبالميتيك والاستياريك .
أما مجموعة الأحماض الدهنية غير المشبعة فبوجود بين ذرات الكربون في
جزيئاتها رابطة مزدوجة أو أكثر (ك = ك) . ومن أمثلة هذه الأحماض
الأوليك واللينولييك واللينولينيك .

والدهون النباتية إما سائلة أو صلبة في درجة الحرارة العادية ، وتعرف
السائلة عادة بالزيوت أما الصلبة فتعرف بالدهون الحقيقية . والعامل الرئيسى
في التركيب الكيميائى للدهن أو الزيت — الذى يحدد هذه الخاصية الفيزيائية —
هى نسبة ما تحتويه من الأحماض الدهنية غير المشبعة . فالزيوت تحتوى على
نسبة عالية من الأحماض غير المشبعة ، والعكس بالنسبة للدهون ، فزيت
بذرة الكتان مثلاً يحتوى على ٦٠ — ٧٥٪ أحماضاً غير مشبعة ، أما دهن
بذرة الكاكاو الصلب — المعروف ببزبدة الكاكاو — فيحتوى على أكثر من
٧٥٪ أحماضاً مشبعة مثل البالميتيك والاستياريك .

ونظراً لأن الزيوت مواد غير مشبعة فإن لها خواصاً اتحادية (Additive
properties) ، فهى تتحد مع الهالوجينات والأكسجين والإيدروجين
عند الروابط غير المشبعة في جزيئاتها . وتتأكسد الزيوت بسهولة عند تعرضها
للجو وتجف ، وكلما كانت درجة عدم تشبع الزيت كبيرة — كما هو الحال
في زيت بذرة الكتان وعباد الشمس — كان جفافها أسرع ، ولذلك فإن
هذا النوع من الزيوت ذو قيمة خاصة في صناعة الطلاء . أما الزيوت التى
تستعمل غذاء — كزيت الزيتون وبذرة القطن وبذرة السمسم — فتحتمل
على نسبة أقل من الأحماض الدهنية غير المشبعة ولذلك فهى أكثر ثباتاً في
الهواء من تلك التى تجف . وعملية تحويل الزيوت النباتية السائلة إلى دهون

الباب السابع والثلاثون

التغذية المعدنية

العناصر التي توجد في النبات :

إذا جفف نسيج نباتي عند درجة ١٠٠°م فإن ما يبقى منه بعد تبخر الماء يمثل المادة الجافة لهذا النسيج . فإذا أحرقت تلك المادة الجافة عند درجة ٦٠٠° تحلل ما فيها من مواد عضوية وخرجت نواتج التحلل في صورة غازات . أما البقايا المتخلفة – والتي تعرف بالرماد (Ash) – فتحتوي على العناصر التي كان يمتصها النبات من التربة ، في صورة أملاح أو أيونات ، وذلك باستثناء النيتروجين . ومن البديهي أن الصورة التي توجد عليها العناصر في الرماد ليست هي التي توجد عليها في النبات الحي ، فهي عادة تكون في الرماد على هيئة أكاسيد . وتختلف كمية الرماد الناتجة عن احتراق الأعضاء والأنسجة النباتية المختلفة ، ففي الثمار الغضة والأنسجة الخشبية تكون نسبة الرماد المتخلف أقل من ١٪ من وزنها الجاف وفي البذور والحبوب تصل هذه النسبة إلى ٣٪ أو ٤٪ ، أما الأوراق فتحتوي من ١٠ – ١٥٪ أو أكثر من وزنها الجاف رماداً .

ولقد أثبت التحليل الكيميائي أنه توجد في رماد النباتات آثار على الأقل لعدد كبير من العناصر يربو على الأربعين ، وذلك بالإضافة إلى عناصر النيتروجين والكربون والهيدروجين والأكسجين التي تتطير على شكل غازات عندما تحرق النباتات للحصول على رمادها . ومن العناصر التي أمكن تمييزها : الكالسيوم والفوسفور والكبريت والبوتاسيوم والمغنيسيوم والحديد والبرون والألومنيوم والنحاس والزنك والمنجنيز والكلور والكوبلت والنيكل والرصاص والمولبدنم والثاليوم والصوديوم والسليكون والسيزيوم.

ومن المحتمل إذا استحدثت طرق تحليلية دقيقة أن يكشف في رماد النباتات عن كل ما هو ذائب في محلول التربة . وذلك لأن إحدى الوسائل التي تدخل بها الأيونات والجزئيات في النبات هي الانتشار البسيط .

والعناصر السابقة التي أمكن تمييزها في النباتات ليست كلها ضرورية لنموها ، كما أن عدداً محدوداً منها يبلغ الخمسة عشر هو الذى يوجد بانتظام وبكميات ملموسة في النباتات . وفي الحقيقة تتفاوت كمية العناصر المختلفة التي توجد في النباتات المختلفة حتى ولو كان نموها في نفس التربة .

ويؤثر التركيب والخواص الأخرى للتربة التي ينمو فيها النبات في نسبة ما يمتص من كل عنصر من العناصر . فقد وجد أن نباتات من نفس النوع — تنمو في أنواع مختلفة من التربة — تحتوى على مقادير متفاوتة من كل عنصر من العناصر المختلفة التي يمتصها النبات . كذلك تختلف نسبة العناصر في أجزاء النبات المختلفة ، فأعلى نسبة للبوتاسيوم والكالسيوم توجد عادة في الأوراق والسيقان الخضراء ، على حين تحتوى الجذور على أقل كمية منهما . كذلك يوجد الفوسفور والمغنيسيوم بكميات أكبر نسبياً في البذور منها في أى جزء آخر من أجزاء النبات البالغ .

وبالرغم من التفاوت الكبير في قيمة كل عنصر ، فإنه يمكن القول بأن البوتاسيوم أعلى العناصر نسبة ، وإن كانت نسبة الكالسيوم في بعض الأحيان تزيد عليها وقد ترتفع نسبة بعض العناصر الأخرى في نباتات معينة ، فالصوديوم مثلاً — الذى تتراوح نسبته في رماد الأوراق من ١ إلى ٣٪ ، تصل نسبته في النباتات الملحية إلى ٣٠ أو ٤٠٪ من الرماد ، وعنصر السليكون يختلف كميته في النباتات اختلافاً كبيراً ، فبعضها يحتوى على آثار ضئيلة منه ، وبعضها الآخر قد يحتوى رماده على ٨٠٪ منه ، ومن النباتات المعروفة بمحتواها العالى من السليكات نبات ذيل الحصان (Equisetum) وبعض النجيليات .

العناصر الأساسية وغير الأساسية :

تقتصر حاجة النبات على عدد محدود من العناصر الكثيرة التي أمكن تمييزها في الأنسجة النباتية ، ويرجع الفضل في تمييز العناصر الأساسية

(Essential elements) لغذاء النباتات إلى تجارب المزارع المائية التي قام بها كل من العالمين الألمانين ساكس (Sachs) ونوب (Knop) قبل وبعد عام ١٨٦٠ . فقد دلت أبحاثهما التي أبدتها نتائج من تلاهما من الباحثين أنه بالإضافة إلى عناصر الكربون والإيدروجين والأكسجين يحتاج النبات لكي ينمو إلى عدد من العناصر الأخرى هي : النيتروجين والفوسفور والكبريت والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم والحديد . وقد اعتبرت هذه العناصر العشرة أساسية لنمو النباتات ، أما بقية العناصر التي توجد في النباتات فلم يظهر لها تأثير مباشر ، وعلى ذلك اعتبرت عناصر غير أساسية (Non - essential elements) .

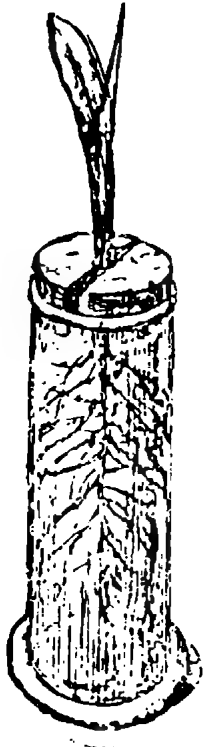
ونظراً لحاجة النباتات إلى مقادير كبيرة نسبياً من العناصر العشرة التي حددها ساكس ونوب فيما عدا الحديد ، فقد أطلق على مجموعتها « العناصر الكبرى » (Major or Macro-elements) . غير أنه بعد ما أدخل من تحسينات على الطرق المستخدمة في الدراسة ، قد أصبح من المحقق أن العناصر السابقة لا تكفي وحدها لنمو النباتات نمواً حسناً ، بل إن آثاراً ضئيلة من خمسة عناصر أخرى يجب أن تضاف إلى محاليل التغذية حتى يكون النمو طبيعياً ، وهذه العناصر هي البورون والمنجنيز والنحاس والزنك والمولبدنم ، وإن كان هناك من الأدلة ما يويد أن بعض النباتات على الأقل تحتاج إلى السليكون والألومنيوم والكلور في محاليل تغذيتها . ونظراً لحاجة النباتات إلى مقادير ضئيلة جداً من هذه العناصر (في كثير من الأحيان أقل من ١ ملليجرام في اللتر من المحلول) فقد أطلق عليها « العناصر الصغرى » (Trace or Micro-elements) ، ويشغل الحديد مركزاً وسطاً بين هاتين المجموعتين ، فهو وإن كان يستخدم بكميات أقل كثيراً من البوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم والفوسفور والكبريت إلا أن هذه الكميات تفوق ما يحتاج إليه من المنجنيز وبقية العناصر الصغرى .

أصبحت قائمة العناصر الأساسية تضم إذن خمسة عشر عنصراً من بين

العناصر التي أمكن تمييزها في رماد الأنسجة النباتية . ومن الممكن أن يؤدي تقدم البحث العلمي إلى زيادة هذه القائمة بإضافة عناصر أخرى لم تثبت للآن ضرورتها ، لأن النبات يحتاج إليها بكميات ضئيلة جداً ، وستكون هذه الإضافة بالطبع إلى مجموعة العناصر الصغرى .

المزارع المائية والرملية :

(شكل ٣٧٥)



طريقة ساكس في تنمية النبات في محلول غذائي (المزرعة المائية)

سبق أن ذكرنا أن الفضل في الاستدلال على العناصر الأساسية لحياة النبات يرجع إلى استعمال المزارع المائية ، كتلك التي استعملها ساكس (شكل ٣٧٥) ، وقد استمر حتى الآن استعمال هذا النوع من المزارع ، كما استخدمت المزارع الرملية لدراسة كل ما يتعلق بالتغذية النباتية . والفرق بين هذين النوعين من المزارع الصناعية أن جذور النبات تنمو في وسط مائي في الأولى ، أما في الثانية فتتنمو في الرمل ، وفي كلتا الحالتين تزود المزرعة بمحاليل التغذية . ومنذ عهد ساكس ونوب اقترح كثير من الباحثين أنواعاً مختلفة من محاليل التغذية ، أثبتت التجارب صلاحية معظمها بالرغم من اختلافها

في نوع وتركيز الأملاح المستعملة . وليس من الممكن تفضيل أحد هذه المحاليل بالنسبة لنبات ما أو لكل النباتات في جميع الظروف ، وذلك لأن تركيب أي محلول منها لا يظل ثابتاً لمدة طويلة من اتصاله بجذور النبات بل يتغير التركيب بدرجة ملموسة نظراً لامتصاص الأيونات المكونة للمحلول بدرجة متفاوتة . ويوضح الجدول (٢٦) تركيب ثلاثة من محاليل التغذية الأكثر شيوعاً وذلك فيما يختص بالعناصر الكبرى والحديد . أما

العناصر الصغرى فتضاف في صورة محلول إضافي تركيبه كما يلي : ٠,٦ جم من حمض البوريك ، ٠,٤ جم من كلوريد المنجنيز المائي ، ٠,٥ جم من كبريتات الزنك ، ٠,٥ جم من كبريتات النحاس المائي ، ٠,٢ جم من حمض المولبديك ، وتذاب هذه جميعها في لتر من الماء يضاف منه ١ سم^٣ لكل لتر من محلول التغذية .

جدول (٢٦)

المكونات الكيميائية لثلاث محاليل التغذية

محلول هوجلاند ٢ (Hoagland Solution 2)	محلول هوجلاند (Hoagland Solution)	محلول شيف (Shive's solution)
الملح / جم / اللتر	الملح / جم / اللتر	الملح / جم / اللتر
كا (٥٠م) ٠,٩٥١	كا (٥٠م) ١,١٨	كا (٥٠م) ١,٠٦١
بو ٠,٦١	بو ٠,٥١	بو ٠,٣١
ما ٠,٤٩١	بو ٠,١٤	ما ٠,٥٥١
(٥٠م) ٠,١٢	ما ٠,٤٩١	(٥٠م) ٠,٠٩
ط ٠,٠٠٥	ط ٠,٠٠٥	ح ٠,٠٠٥

ويعتمد استعمال المزارع المائية أو الرملية على نوع الدراسة المرغوبة . فالمزارع المائية تستخدم عادة لدراسة التأثيرات الخاصة بالعناصر المختلفة والأعراض التي تنجم عن نقصها ، ولهذا الغرض يقارن نمو نبات ما في محلول غذائي كامل ونبات آخر من نفس النوع في محلول به جميع العناصر ماعدا العنصر المراد اختباره . ويراعى عند تحضير المحاليل استعمال كيمائيات نقية وماء أعيد تقطيره بأجهزة خاصة حتى يكون خالياً من الشوائب المعدنية . وتوضع محاليل التغذية في أوعية مناسبة نظيفة مصنوعة من نوع خاص من الزجاج (Pyrex glass) أو البوروسليكات أو الخزف المصقول حتى لا تكون مصدراً لأي عنصر إضافي في المحلول . ومن الممكن أن تستعمل أنواع من الأوعية أقل جودة من الأولى على أن تغطي جدرانها الداخلية بطبقة من الشمع تحول

دون تسرب بعض مواد الجدار إلى المحلول ، ومن الأنسب أن تغطى جدران الأوعية الزجاجية بورق أسود لكي يبقى الجذور من تأثير الضوء من ناحية ويمنع نمو الطحالب من ناحية أخرى ، وتثبت بعد ذلك بادرات النبات في الأغشية المثقبة لفوهات الأوعية بحيث يتدلى الجذر في المحلول . وتصنع الأغشية عادة من المعدن أو الفلين أو الورق المغطى بالشمع حتى تكون بمثابة دعامة للبادرات .

وينبغي للحصول على نتائج طيبة أن يراعى تهوية محلول التغذية ، وذلك بدفع تيار من الهواء يمر داخل المحلول على شكل فقاعات صغيرة تحصل منها الجذور على الأكسجين اللازم لتنفسها . ولما كان امتصاص النبات للأيونات المختلفة لا يتم بسرعة واحدة ، كما أن سرعة امتصاصه للماء لا تتناسب مع سرعة امتصاصه للأيونات ، فإنه سرعان ما يتغير تركيب محلول التغذية ورقه الإيدروجيني . فأيون البوتاسيوم مثلاً يمتص عادة من محلول يحتوى على كبريتات البوتاسيوم بدرجة أسرع من امتصاص أيون الكبريتات ، وهذا يؤدى إلى ازدياد حموضة المحلول . مثل تلك التغيرات غير المرغوب فيها يمكن التغلب عليها باستعمال أحجام كبيرة من محاليل التغذية لا تؤثر فيها هذه التغيرات أو بتجديد المحاليل من حين لآخر .

أما المزارع الرملية فتفضل المزارع المائية في بعض الدراسات ، كما أنها أسهل تداولاً وأقل تعقيداً ، وفيها ينمو النبات في رمل نظيف عومل معاملة خاصة لإزالة ما به من شوائب . ويشترط في الرمل أن يكون على درجة مناسبة من النعومة تسمح بالتهوية الجيدة ، وفي الرقت نفسه تمكنه من الاحتفاظ بقدر كاف من الماء، وبعد وضع البذور في الرمل تزود المزارع الرملية بمحاليل التغذية بالطرق المعتادة .

وأهم ما يمتاز به المزرعة الرملية على المزرعة المائية أن الجذور في الأولى تنمو في بيئة أقرب إلى التربة وعلى الأخص بالنسبة للتهوية . غير أن المزرعة الرملية لاتصلح لدراسة أهمية العناصر الصغرى ، وذلك لأن معظم أنواع الرمل

— مهما كانت درجة نظافتها — تحوى آثاراً لعدد غير قليل من العناصر الصغرى يستطيع النبات الحصول على ما يكفيه منها ، ولذلك تفضل المزارع المائية في هذا النوع من الدراسة .

دور العناصر الأساسية في تغذية النبات :

سبق أن ذكرنا أن العناصر التي يمتصها النبات ليست كلها ضرورية لحياته ، كذلك لا يلزم أن يستعمل النبات كل ما يمتصه من العناصر الأساسية فقد يبقى بعضها في صورة أيونات حرة . وتؤدي العناصر المختلفة بوجه عام كثيراً من الوظائف الهامة للنبات ، فقد تدخل مباشرة في تركيب مادة الجدار الخلوي والبروتوبلازم ، وقد تراكم في الفجوة العصارية مساهمة بذلك في رفع الضغط الأزموزي للخلية ، كما أن بعض العناصر تقوم بدور مساعد في عدد من التفاعلات الكيميائية التي تحدث في الخلية ، فالحديد والنيحاس مثلاً يكونان المراكز الفعالة لعدد من الإنزيمات ، كما أن بعض العناصر الأخرى تعمل كمنشطات أو مثبطات لتفاعل أو أكثر من التفاعلات الإنزيمية . وقد أجريت في الخمسين سنة الأخيرة أبحاث كثيرة على تأثير التركيزات المطلقة والنسبية للعناصر الكبرى في نمو النباتات وكمية محصولها اتضح منها أن هناك تداخلاً لا شك فيه يحدث بين مختلف العناصر ، إلا أن نوع هذا التداخل وطبيعته لم يتعدى بعد مرحلة التكهن . فمثلاً قد يتطلب استعمال عنصر من العناصر الأساسية وجود عنصر آخر منها أو أكثر . وعلى ذلك فإن نقص عنصر ما قد يؤدي إلى تراكم عناصر أخرى في صورة فعالة ، وقد يكون هذا التراكم كبيراً بحيث يصل تركيز العنصر إلى درجة سامة ، ومن ثم تظهر له أعراض مرضية . يتضح من ذلك أن الأعراض الناجمة عن نقص عنصر ما قد لا تكون من تأثيره المباشر ، بل تكون ثانوية مبعثها تراكم عناصر أخرى بتركيزات سامة .

وباستثناء الكربون والهيدروجين والأكسجين ، التي لا يكاد يخلو منها مركب من المركبات العضوية في النبات والتي تكون نسبة عالية من وزنه

الجاف تصل إلى ٩٠٪ أو أكثر أو أقل على حسب نوع النبات ، فإننا سنتناول بالدراسة الدور الخاص بكل عنصر من العناصر الأساسية الأخرى .

النيتروجين : يدخل هذا العنصر في تركيب الأحماض الأمينية والأميدات والبروتينات ، وهي أهم مكونات المادة البروتوبلازمية ويعتمد النبات مايلزمه من هذا العنصر من التربة في صورة أيونات نترات أو نواتر ، وللقريبات القدرة على الاستفادة من النيتروجين الجوي بواسطة البكتيريا العقدية التي تعيش في جذورها .

والأعراض التي تنشأ عن نقص النيتروجين هي في العادة ضعف اللون الأخضر في الأوراق واصفرارها ثم سقوطها مبكرة إذا اشتد نقص هذا العنصر ويبدأ ظهور الأعراض على الأوراق السفلى للنبات « شكل ٣٧٦ » ، إذ أن عنصر النيتروجين ينتقل إلى مناطق النمو فتحرم منه الأوراق السفلى التي تبدأ في الاصفرار ، وتغزى ظاهرة اصفرار الأوراق في هذه الحالة إلى أن النيتروجين هو أحد مكونات جزيء المادة الخضراء .

والنباتات التي تنمو في بيئة غنية جداً بهذا العنصر تكون أوراقها خضراء داكنة وتتميز بوفرة نموها الخضري . والنيتروجين يميل - أكثر من أي عنصر آخر - إلى أن يكون عاملاً محدداً في التربة ، ولذلك فهو - بالإضافة إلى الفوسفور - غالباً ما يضاف إلى التربة في صورة مخصبات .

الفوسفور : تمتص النباتات الفوسفور على هيئة أيونات فوسفات (PO_4^{3-}) ، (H_2PO_4^-) ، ويدخل هذا العنصر في تركيب الليبيدات (الدهون المفسفرة) مثل الليسيثين (Lecithin) ، وهو دهن حل فيه حمض الفوسفوريك محل أصل حمض دهني واحد ، وهذا المركب وغيره يدخل في تركيب البروتوبلازم . كذلك يدخل الفوسفور في تركيب البروتينات النووية الخاصة بالزواة ، ولذلك فهو يكثر في المناطق المرستيمية حيث يستنفد بكميات كبيرة في تكوين مثل هذه المركبات .

(شكل ٣٧٦)

نقص نيتروجين



نقص فوسفور



نقص بوتاسيوم



نقص كالسيوم



نقص ماغنسيوم



نقص حديد



أعراض نقص بعض العناصر في نبات التبغ (بونرو والبقون ١٩٥٢)

ودور المركبات الفوسفورية - في تحولات المواد الكربوهيدراتية والتنفس
وجمل الطاقة - يعتبر من الوظائف الرئيسية للفوسفور في النبات ، كذلك
أيدت أبحاث بعض العلماء أهمية الفوسفور في العمليات المؤدية إلى بناء
البروتينات ، فقد وجد أن النباتات التي تعاني من نقص هذا العنصر تحتوي

على نسبة عالية من المركبات النيتروجينية الذائبة - كالأמידات والأحماض الأمينية والنشادر بينما تقل نسبة البروتينات فيها عن المعتاد، ويصحب النقص في معدل البناء البروتيني عادة تراكم المواد السكرية في الأجزاء الخضراء للنبات .

وتتأخص أعراض نقص الفوسفور في النباتات في ضآلة نمو النبات ، واللون الأخضر الداكن الذي تتميز به الأوراق ، وفي بعض الأحيان ظهور اللون الأرجواني أو الأحمر نتيجة تكون صبغ الأنثوسيانين في الأوراق ، وقد يصحب هذه الأعراض تكون مساحات من الأنسجة الميتة على الأوراق أو الأعناق أو الثمار غالباً ما تؤدي إلى تساقط الأوراق .

وعندما يكون تركيز الفوسفور الميسور حول الجذور ضئيلاً فإن المركبات النيتروجينية غير العضوية تمتص بسرعة وتتراكم في الأنسجة النباتية ، وعلى العكس يقل إمتصاص المركبات الأخيرة عندما يكون تركيز الفوسفور الميسور في التربة عالياً . وعلى ذلك فإن استعمال المخصبات الفوسفاتية قد يغير ميزان النيتروجين في النبات ، ومن الشواهد المؤيدة لذلك النضج المبكر الذي يحدث عادة عندما يكون تركيز الفوسفور الميسور عالياً. وتأخر النضج الذي يصاحب نقص هذا العنصر .

وعنصر الفوسفور له القدرة على الانتقال السريع من عضو إلى آخر ، ويتم هذا الانتقال أساساً في صورة فوسفات ، وقد وجد ماك جلفراي أنه عند نقص الفوسفور في النبات والوسط الخارجي ينتقل الجزء الأكبر من هذا العنصر من الأوراق كاملة التكوين إلى الأنسجة النامية . وعند تكوين الثمار والبذور ينتقل الفوسفور إليها بكميات كبيرة ، ولذلك فإن الجزء الأكبر من هذا العنصر في النبات البالغ يوجد في البذور والثمار .

الكبريت : يمتص النبات عنصر الكبريت من التربة على هيئة أيون الكبريتات (كـ ب ا) . وهذه الأيونات يبقى بعضها في الخلايا كما هو ، أما الباقي فيتحول من هذه الصورة المؤكسدة إلى صورة مختزلة (- ك ب د) حيث يدخل في تركيب كثير من المركبات داخل النبات ، منها البروتينات التي

تحتوى على الحمض الأميني سيستين (Cystine) . وبعض الفيتامينات النباتية كالثيامين والبيوتين . كذلك يدخل الكبريت في تركيب جليكوسيدات زيت الخردل ، مثل السينيجرين (Sinigrin) الذى يسبب الرائحة المميزة لبعض النباتات كالخردل والبصل والثوم وغيرها .

وأعراض نقص الكبريت في النباتات تشبه إلى حد كبير تلك التى تنشأ عن نقص النيتروجين ، ويرجع ذلك لأهمية هذا العنصر في تكوين البروتينات والكلوروفيل .

البوتاسيوم : هذا العنصر — على عكس غيره من العناصر الكبرى — لم يعرف بصفة قاطعة أنه يدخل في تكوين المركبات العضوية اللازمة لحياة النبات ، وبرغم ذلك فهو عنصر لا يمكن الاستغناء عنه ، كما لا يمكن أن تستبدل به كلية عناصر أخرى تشبه كيميائياً كالصوديوم والليثيوم . ويكثر البوتاسيوم في مناطق النمو في النباتات ، وخاصة في البراعم والأوراق حديثة التكوين وفي قمم الجذور ، أما الأنسجة البالغة والبذور فتحتوى على نسبة ضئيلة منه .

والدور الخاص بالبوتاسيوم في النبات غير واضح ، إلا أن الدراسات الكثيرة التى أجريت على النباتات المختلفة قد أدت إلى معرفة كثير مما يحدث عند نقص هذا العنصر . فالأوراق غالباً ما تصاب بنوع من التلف عند غيابه ، فتظهر عليها عند القمة والحواف بقع صفراء لا تلبث أن تتحول إلى مساحات من الأنسجة الميتة بنية اللون ، ولذلك تبدو حواف الأوراق وكأنها محترقة . كذلك تبين أن النباتات التى تعاني نقصاً في البوتاسيوم تحتوى عادة على نسبة عالية من مركبات النيتروجين العضوية الذائبة — كالأحماض الأمينية والأميدات — ولكنها في الوقت نفسه تحتوى على نسبة منخفضة من البروتينات . من ذلك يتضح أن البوتاسيوم يؤثر بطريقة ما في بناء البروتينات من الأحماض الأمينية ، وهى حقيقة تتفق مع ما لوحظ من توفر هذا العنصر في المناطق النامية حيث يكون البناء البروتيني نشيطاً .

وعنصر البوتاسيوم سريع الانتقال في النبات ، فهو ينتقل من الأوراق والأعضاء كاملة التكوين إلى مناطق النمو ، وهذه الأنسجة الناشطة لها القدرة على تراكم البوتاسيوم بدرجة كبيرة . ولهذا السبب تظهر أعراض نقص هذا العنصر في الأوراق السفلى أولاً ثم تنتشر تدريجياً إلى الأوراق العليا .

ويوجد البوتاسيوم في النبات في صورة ذائبة غير عضوية غالباً ، وقد توجد منه أملاح لبعض الأحماض العضوية ، وفي بعض النباتات يوجد هذا العنصر في العصير الخلوي بتركيزات كبيرة في صورة أملاح بسيطة تلعب دوراً هاماً في المحافظة على امتلاء الخلايا .

الكالسيوم : يوجد الجزء الأكبر من هذا العنصر في معظم النباتات في الأوراق وهو - على النقيض من الفوسفور والبوتاسيوم - يكثر في الأوراق المسنة عنه في الأوراق حديثة التكوين .

والكالسيوم من العناصر الأساسية التي تدخل في بناء هيكل النبات . فهو يتحد مع حمض البكتيك مكوناً بكتات الكالسيوم التي تدخل في تكوين الصفيحة الوسطى ، وإذا انخفضت نسبة الكالسيوم في النبات عن حد معين لا تتكون جدر خلوية جديدة ، وذلك بالرغم من احتمال حدوث خطوات من الانقسام الخلوي كاتقسام النواة .

ولأيونات هذا العنصر تأثير واضح في نفاذ الأغشية البلازمية ، وفي إبطال التأثير السام لأيونات العناصر الأخرى بعملية التضاد . ويبدو أن للكالسيوم دوراً في اختلال النترات في الأنسجة النباتية ، فقد وجد أن بعض النباتات لا تستطيع - في غياب الكالسيوم - امتصاص النترات وتمثيلها .

والكالسيوم عنصر غير قابل للحركة تقريباً ، أى لا ينتقل بين أنسجة النبات في حالة نقصه ، وهذا يفسر بدء ظهور الأعراض الدالة على نقص الكالسيوم في الأعضاء حديثة التكوين . وتبدأ هذه الأعراض على الأوراق الحديثة في القمة النامية ، فتبدو مشوهة غير منتظمة الحوافي ، وفي نفس الوقت

يتمف نمو القمم النامية في الساق والجذر وتبدو عليها مظاهر الانقراض . ونظراً لدور الكالسيوم في امتصاص العناصر الأخرى من التربة أو محاليل التغذية ، فإن أعراض نقصه غالباً ما تكون معقدة ، فمثلاً قد يؤدي نقص الكالسيوم إلى امتصاص الماغنيسيوم وتراكمه بدرجة سامة ، وعلى ذلك فالأعراض التي تظهر على النباتات في هذه الحالة تكون من التأثير السام للماغنيسيوم ، وليست من نقص الكالسيوم .

الماغنيسيوم : يدخل هذا العنصر في تركيب جزئ الكلوروفيل ، وعلى ذلك فدوره في النباتات الخضراء واضح . ومن المحتمل أن يكون لهذا العنصر وظائف أخرى أساسية في حياة النباتات ، إذ أنه ضروري للنباتات غير الخضراء والخضراء على السواء ، فالمعتقد أن لهذا العنصر علاقة باستعمال الفوسفور في النبات ، ويستند هذا الاعتقاد إلى أن الأنسجة التي تحتوى على كمية كبيرة من الماغنيسيوم تحتوى في نفس الوقت على كمية كبيرة من الفوسفور وذلك كما في البذور وقمم السوق والجذور .

ويسبب نقص هذا العنصر اصفرار الأوراق ، وتلك ظاهرة تعرف بالشحوب اليخضوري (Chlorosis) ، وتبدأ هذه الأعراض من قاعدة النبات ثم تتدرج إلى أعلى ، ويصاحب ظاهرة الاصفرار عادة موت أجزاء من الورقة أو الورقة كلها .

ويحتاج النبات إلى قدر ضئيل من هذا العنصر ، وقد تسبب زيادة تركيزه في محاليل التغذية ظهور أعراض مرضية تنتهي بموت الخلايا ، وخاصة في الجذيرات الصغيرة ، ويمكن التغلب على هذا التأثير السام بإضافة قدر كاف من الكالسيوم .

الحديد : يعتبر الحديد أساسياً في تكوين الكلوروفيل في النباتات الخضراء هذا على الرغم من أنه لا يدخل في تركيب جزئ هذه المادة . ويسبب نقص هذا العنصر اصفرار الأوراق حديثة التكوين وعلى الأخص في المناطق التي بين العروق ، وعندما تشتد الحالة تصبح الأوراق بيضاء عاجية فيما عدا العروق التي تظل داكنة اللون أو خضراء تقريباً . وللحالة التي يوجد عليها الحديد في

النبات تأثير في بناء الكلوروفيل ، فقد تصاب الأوراق بمرض الاصفرار بالرغم من احتوائها على كمية من الحديد تماثل ما يوجد منه في الأوراق الخضراء. وتفسير ذلك أن الحديد في مثل هذه الأوراق الصفراء يكون في صورة غير صالحة للاستعمال ، فالحديد لا يكون نشطاً فعالاً إلا وهو على هيئة « حديدوز » هذا بالرغم من أن امتصاصه يتم عادة وهو على هيئة « حديدك » ، إلا أنه يختزل بسرعة في الخلايا . والسرعة التي يختزل بها الحديد في الخلايا الحية تتأثر على ما يبدو بكمية المنجنيز كما سيأتى فيما بعد .

ونظراً لحاجة النباتات إلى الحديد بكمية ضئيلة جداً (أقل من ملليجرام واحد لكل لتر من محلول التغذية) فإن المعتقد أنه يقوم بدور العامل المساعد لعدد من التفاعلات في النبات ، ومن بين هذه التفاعلات تلك التي تؤدي إلى تكوين الكلوروفيل ، كذلك يقوم الحديد بدور هام في عملية التنفس الهوائى ، فهو يدخل في تركيب بعض الإنزيمات والحوامل التي تعمل في عملية التنفس ، ومن أمثلتها الكاتاليز والبيروكسيداز وأكسيداز السيتوكروم والسيتوكروم .

والحديد أقل العناصر حركة في النبات فهو - على عكس الفوسفور والنيتروجين والمغنيسيوم والبوتاسيوم - لا ينتقل من الأنسجة المسنة إلى الأنسجة الحديثة ، ولذلك إذا نقل النبات المزود بالحديد إلى مزرعة خالية من هذا العنصر ظهرت أعراض نقصه على الأوراق حديثة النشأة .

المنجنيز : يحتاج النبات إلى كميات ضئيلة من المنجنيز ، وتعتبر أملاحه سامة للنبات إلا إذا وجدت بتركيزات مخففة . ويكثر هذا العنصر في الأجزاء ذات النشاط الفسيولوجى وخاصة الأوراق . وهو عنصر غير متحرك لا يكاد ينتقل من مكان إلى آخر في النبات .

ودور المنجنيز في النبات هو دور العامل المساعد . والمعتقد أنه يشترك بطريقة ما في عمليات التأكسد والاختزال . وخاصة ما كان منها مرتبطاً بمركبات الحديد . ويبدو أن المنجنيز يؤكسد أيون الحديدوز المتحرك (الذائب) إلى أيون الحديدك غير الذائب ، وعلى ذلك فعند نقص المنجنيز في النبات يتراكم أيون الحديدوز إلى الدرجة التي يصبح فيها ساماً ، وعندئذ تختل عملية تمثيل

الحديد ويصفر النبات . وعلى العكس عندما تزيد كمية المنجنيز فإن كمية الحديد النشط تتضاءل وتظهر أعراض نقص الحديد . وعلى ذلك فتعتبر وظيفة المنجنيز في النبات هي تنظيم تركيز الحديد النشط .

ويسبب نقص هذا العنصر ظهور أعراض مرضية واضحة ، أهمها وأكثرها شيوعاً اصفرار الأوراق ، وعلى الأخص أجزاء النصل التي بين العروق . ومن الأعراض الأخرى مرض التبقع الرمادي (Grey speck) في الشوفان وغيره من نباتات الحبوب ، ويتميز بوجود بقع رمادية بين العروق في الأوراق ، ومرض الاصفرار الأرقط (Speckled yellows) في بنجر السكر .

البورون : يحتاج النبات إلى قدر ضئيل جداً من البورون ، وذلك لكي ينمو نمواً حسناً ، ولا يزيد ما يضاف من البورون إلى محاليل التغذية على جزء واحد في المليون (*) أو أقل إلا في القليل النادر ، ويتوقف ذلك على نوع النبات ، فنباتات الطماطم والجزر مثلاً تحتاج إلى أقل من جزء واحد في المليون لكي تنمو نمواً حسناً ، أما نبات بنجر السكر فلا يصل نموه إلى الدرجة القصوى إلا إذا بلغ تركيز البورون من ١٠ إلى ١٥ جزءاً في المليون .

ويبدو أن دور البورون مرتبط بامتصاص واستعمال الكالسيوم . فالمعتقد أنه يحفظ الكالسيوم على صورة ذائبة ، ومن ثم يزيد من حركته في النبات ومصادق ذلك ما وجد من أن نقص البورون يصاحبه انخفاض كمية الكالسيوم الذائبة ، والعكس بالعكس ، كذلك يدل تراكم المواد الكربوهيدراتية ومركبات النوشادر وغيرها من المركبات النيتروجينية الذائبة في النباتات - التي تعاني نقصاً في البورون - على أن نقص هذا العنصر يؤدي إلى انخفاض معدل البناء البروتيني .

ويسبب نقص هذا العنصر عادة انحلال الأنسجة ثم انقراضها ، وخاصة تلك التي تتكون من خلايا رقيقة الجدر كالحاء ومناطق النمو في الجذر والساق ،

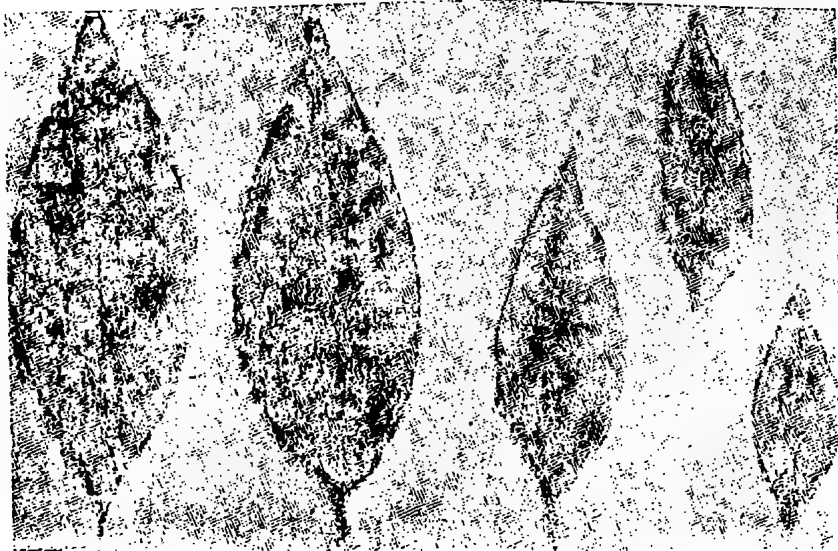
(*) يدل هذا التعبير على التركيز النسبي للعنصر ، فمثلاً إذا أذيب ١ ملليجرام من البورون في لتر من المحلول فإن تركيزه النسبي يكون ١ جزء في المليون ، وذلك لأن اللتر من الماء يعادل ١٠٠٠ جم ، ويحتوي الجرام على ١٠٠٠ ملليجرام ، أي أن هذا الجزء الواحد من البورون يوجد في مليون (١٠٠٠ × ١٠٠٠) جزء من المحلول .

وعلى ذلك يقف نمو النبات ولا تكون أوراق ولا براعم جديدة ؛ ولهذا السبب كانت أعراض نقص البورون في نبات التبغ تعرف قبل اكتشافها « بمرض القمة » (Top sickness) . وفي الأعضاء اللحمية يسبب نقص البورون انحلال الأنسجة الداخلية وتحولها إلى اللون البني كما في بنجر السكر واللفت والتفاح .

وزيادة البورون لها تأثير سام على النباتات . وكثيراً ما يشاهد هذا التأثير السام في نباتات الحقل ، وينتج عن ماء الري عندما يحتوى مركبات هذا العنصر في صورة ذائبة . وقد لاحظ تشابمان (Chapman) وزملاؤه - عام ١٩٥٦ - أن زيادة البورون في ماء الري عن جزء واحد في المليون له تأثير سام على أشجار الموالح .

الزئبق : لهذا العنصر تأثير سام على النبات إلا إذا استعمل بتركيزات مخففة جداً ، وتكفى منه آثار ضئيلة لكي ينمو النبات نمواً حسناً . ويسبب نقص هذا العنصر عادة اصفرار المناطق التي بين العروق في الأوراق فتبدو متبقعة ، ولذلك يعرف المرض بالورقة المتبقعة « Mottle leaf » (شكل ٣٧٧) ،

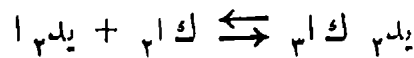
(شكل ٣٧٧)



أعراض نقص الزئبق في الموالح ، الورقة المتبقعة الى اليسار والورقة الصغيرة الى اليمين

وهو شائع في الموالح ، وقد يتبع ذلك عجز البرعم الطرفي عن النمو الطبيعي ، وعندما تظهر أوراق جديدة تكون صغيرة ومشوهة . وينشأ عن عجز البرعم الطرفي عن النمو قصر السلاسل التي تفصل بين البراعم الجانبية ، بحيث تبدو الأخيرة متجمعة عند القمة ، ولذلك تعرف هذه الظاهرة المرضية « بالتورد » (Rosetting) أو الورقة الصغيرة (Little leaf) ، وهي كثيراً ما تشاهد في الأشجار وخاصة أشجار النماكة كالتفاح والموالح ، ويمكن علاجها بإضافة أملاح الزنك إلى التربة أو رش الأشجار بمحلولها ، كذلك يسبب نقص الزنك في نبات الذرة حالة تعرف « بالبرعم الأبيض » (White bud) ، وفيها تظهر الأوراق الجديدة بيضاء تكسب قمة النبات اللون الأبيض .

ويقوم الزنك بدور العامل المساعد في عمليات الأكسدة والاختزال وتكوين الكلوروفيل والبناء الضوئي وغيرها من العمليات . فهو يدخل في تركيب إنزيم أنهيدراز الكربونيك (Carbonic anhydrase) ، الذي يعمل على تفكيك حامض الكربونيك إلى الماء وثاني أكسيد الكربون كما يلي :



والمعتقد أن هذا الإنزيم يوجد في الورقة في البلاستيدات الخضراء والسيتوبلازم ، ويستدل من وجوده على أهمية الزنك في البناء الضوئي ، كما قد يساعد وجوده في السيتوبلازم على سرعة انطلاق ثاني أكسيد الكربون الناتج عن عملية التنفس .

ويعتقد فالى (Vallee) وزملاؤه - عام ١٩٥٦ - أن الزنك يدخل في تركيب أو على الأقل لازم لنشاط ديهيدروجينيز التريوز فوسفات (Triose phosphate dehydrogenase) ، وهو الإنزيم المسئول عن أكسدة وفسفرة ألدهيد فوسفو الجليسيريك إلى حمض ثنائي فوسفو الجليسيريك وهو أحد التفاعلات الهامة في المرحلة اللاهوائية للتنفس .

ويعتبر سكوج (Skoog) - ١٩٤٠ - أن تأخر النمو أو توقفه في النباتات التي تعاني من نقص الزنك يرجع لأهمية هذا العنصر في تكوين إندول حمض الخليك وهو الهرمون النباتي الهام .

النحاس : عنصر النحاس — مثل الزنك — له تأثير سام في النباتات إلا إذا استعمل بتركيزات منخفضة للغاية . ويعتقد أن وجود آثار ضئيلة منه أساسية لعمليات الأيض النباتي ، إذ قد أصبح من المحقق أنه يدخل في تركيب بعض الإنزيمات المؤكسدة كأكسيدازات الفينول .

ويسبب نقص النحاس ظهور مرض الاصفرار في نباتات الحبوب وغيرها من نباتات المحاصيل . ويبدأ ظهور الأعراض في قمم الأوراق ، ولذلك يعرف المرض « بالقمة الصفراء » (Yellow tip) كذلك يؤثر نقص النحاس في الموالح وغيرها من أشجار الفاكهة ، فيعقب ظهور الاصفرار فيها عجز البرعم الطرفي عن النمو وتورد القمة وموت الفروع من القمة كما هو الحال في الزنك .

المولبدنم : وهو أحدث ما أضيف إلى قائمة العناصر الأساسية . وأول دليل على أهميته كان بالنسبة لنبات الطماطم ، ثم توالى بعد ذلك اكتشاف ضرورته لأنواع مختلفة من النباتات الراقية . ويحتاج النبات من المولبدنم إلى كمية ضئيلة جداً إذا ما قورنت بما يحتاج إليه من بقية العناصر الأساسية ، فقد وجد أن جزءاً في ١٠,٠٠٠,٠٠٠ جزء من محلول التغذية يكفي لمنع أعراض نقص المولبدنم في نباتات الطماطم .

والمعتقد أن المولبدنم يقوم بدور العامل المساعد في النبات ، ويبدو أن هذا الدور مرتبط باختزال النترات في الخلايا إلى النوشادر ، وذلك قبل بناء الأحماض الأمينية والبروتينات . ويسبب نقص هذا العنصر ظهور بقع صفراء في الأوراق وموت حوافها ، وسقوط الأزهار في الطماطم ، ونمو العرق الوسطى دون النصل في القرنبيط (شكل ٣٧٨) .

الدور الفسيولوجي لبعض العناصر الأخرى :

وبالرغم من أن الخمسة عشر عنصراً — التي سبق ذكرها — تضم كل ما ثبتت أهميته لنمو النباتات الراقية ، فإن هناك عدداً من العناصر الأخرى اتضح أن لها تأثيراً منشطاً ، وفي بعض الأحيان اعتبرت أساسية لنمو نباتات



(شكل ٣٧٨)

نبات قرنبيط نام في غيـاب
المولبديم وفيه يظهر مرض الذيل
السوطى « whiptail » الناشئ عن
نمو العرق الوسطى دون النصل.
(عن ستيلز، ١٩٦١)

خاصة تحت ظروف معينة . ومن هذه العناصر : الألومنيوم والبروم والسيزيوم
والكلور والكروم والكوبلت والفلور واليود والرصاص والليثيوم والسليكون
والصوديوم والنيكل والسيلينيوم . وقد اختصت بعض هذه العناصر بدراسة
وافية إلا أن الجزم بحقيقة عملها ما زال يتطلب المزيد من هذه الدراسة ، فمثلا
لاحظ بعض الباحثين أن إضافة الصوديوم أو السليكون أو الكلور أو الألومنيوم
إلى وسط النمو تسبب زيادة ملحوظة في نمو النباتات المختلفة ، وقد اعتبر هذا
دليلا على أهمية هذه العناصر .

فالصوديوم مثلا يستطيع — ولو إلى درجة محدودة — أن يحل محل
البوتاسيوم كعنصر أساسى فى التغذية النباتية ، فقد لوحظ أن وجود أيونات
الصوديوم تؤخر ظهور أعراض نقص البوتاسيوم وتخفف من حدتها فى نباتات
الشعير .

والسليكون الذى يترسب على الجدر الخلوية لبعض النباتات — فيزيد من
صلابتها ومقاومتها لمهاجمة الفطريات أو الحشرات — كان يعتبر كذلك من
العناصر الأساسية ، إلا أن التجارب التى أجريت قد أوضحت أنه عنصر غير
أساسى ، فالنباتات — وخاصة تلك التى تحتوى على نسبة عالية منه — تستطيع

أن تنمو حتى مرحلة البلوغ في مزارع مائية خالية منه خلواً تماماً . وعلى الرغم من ذلك يعتقد بعض الباحثين (ليپمان Lipman ١٩٣٨) أن آثاراً ضئيلة من هذا العنصر ضرورية لنمو بعض النباتات .

وللسليكون على ما يبدو تأثير هام في استعمال الفوسفور في النبات ، فإضافة السليكات إلى التربة تسبب زيادة في محصول النباتات التي تنمو في وسط لا يحتوى على قدر كاف من الفوسفات . ويعتقد البعض أن هذا التأثير ليس راجعاً إلى إحلال السليكون محل الفوسفور ولكنه يعزى إلى أن وجود هذا العنصر يجعل الفوسفور في النباتات وفي التربة في حالة ميسورة صالحة للاستغلال ، فالفوسفور غير القابل للانتقال في النباتات مثلاً يتحول إلى حالة ذائبة ينتقل على أثرها إلى المناطق النشطة النمو .

والكلور شائع الانتشار في النباتات ، وهو يوجد غالباً على هيئة كلوريدات ذائبة . ويبدو أن أهمية الكلور بالنسبة للنبات ليس مبعثها تأثيره المباشر ، ولكنها راجعة إلى تأثير ما يضاف من كلوريدات على توازن الأيونات في التربة أو محلول التغذية .

والألومنيوم هو الآخر شائع الانتشار في النباتات على الرغم من وجوده في بعضها بنسبة ضئيلة جداً ، وهو لا يعتبر من العناصر الأساسية وإن كان بعض الباحثين يعتقد أن آثاره ضرورية لنمو بعض النباتات . والألومنيوم ذو تأثير سام في النباتات إلا إذا كان موجوداً بكمية ضئيلة جداً ، وقد يظهر تأثيره السام في نباتات الذرة والشعير عندما يكون تركيزه جزءاً واحداً من مليون . ولعل السبب في عذم صلاحية التربة الحمضية (التي يبلغ رقتها الإيدروجيني ٥ أو أقل) لنمو بعض النباتات راجع - ولو جزئياً - إلى التأثير السام للألومنيوم الذي يوجد بتركيزات عالية نسبياً في مثل هذه التربة ، كما أن الألومنيوم في الأراضي الحمضية قد يرسب الفوسفور ، ومن ثم يقلل من صلاحيته لاستغلال النباتات له . وقد تكون الفائدة التي تعود على النباتات من إضافة الجير أو الفوسفات إلى الأراضي الحمضية راجعة - ولو إلى حد ما

— إلى نقص ذوبان مركبات الألومنيوم في التربة ، وكذلك إلى زيادة كمية الفوسفور الميسورة .

طرق الكشف عن نقص العناصر في الحقل :

سبق أن أوضحنا أن نقص أى عنصر من العناصر الرئيسية يؤثر تأثيراً كبيراً في النمو وتظهر على النباتات أعراض مرضية خاصة بكل عنصر ، قد يكون من السهل أحياناً تمييزها بمجرد الرؤية ، غير أنه في كثير من الأحيان وخاصة عندما تتشابه الأعراض — كأعراض الاصفرار الناتجة عن نقص الحديد أو المنجنيز أو غيرهما — يختلط الأمر على الرائي ، ويصبح الاكتفاء بالتشخيص العيني أمراً بالغ الخطورة ، خاصة عندما يتطلب الأمر علاجاً ، فإضافة العناصر الغذائية إلى التربة قد يؤدي — ما لم يكن النبات في حاجة حقيقية إليها — إلى الإضرار بالنبات .

والطرق المتبعة لتقدير احتياجات التربة من العناصر الغذائية يمكن تقسيمها إلى : —

- (أ) تشخيص الأعراض المرئية على النبات .
- (ب) التحليل الكيميائي للتربة .
- (ج) الاختبار الأحيائي للتربة .
- (د) التحليل الكيميائي للنبات .

وسنتناول كل طريقة على حدة في شيء من الإيجاز .

(أ) تشخيص الأعراض المرئية على النبات : وتعتمد هذه الطريقة على ظهور أعراض مميزة لنقص عنصر ما على النبات . فنقص النيتروجين مثلاً يؤدي إلى اصفرار النبات وضآلة نموه ، أما نقص البوتاسيوم فيؤدي إلى تحرق حواف الأوراق ، وهكذا . . وعلى الرغم من أن أعراض نقص عنصر ما تتشابه بوجه عام في كل الأجناس النباتية ، فإن بعض الأعراض تتخذ شكلاً مميزاً في نباتات معينة ، فأعراض نقص المنجنيز في نباتات الجيوب تظهر في

الأوراق على هيئة خطوط طويلة صفراء وخضراء متبادلة . ومرض التبقع (Leaf mottling) الذى يشاهد فى أشجار الموالح ينشأ عن نقص عنصرى الزنك أو المنجنيز ، إلا أن أعراض نقص الزنك تظهر على الجانب الأكثر تعرضاً للشمس من النبات بينما تظهر أعراض نقص المنجنيز على الجانب الآخر منه .

وفى (جدول ٢٧) مقارنة لبعض الأعراض الشائعة فى كثير من الأجناس النباتية . وأساس التمييز بين الأعراض فى الجدول يعتمد بالدرجة الأولى على حركة العنصر فى النبات . فالعناصر قليلة الحركة فى النبات كالحديد والمنجنيز والبورون والكالسيوم تبدأ أعراضها فى الظهور على الأوراق البرعمية والحديثة أما العناصر سريعة الانتقال كالنيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والمغنسيوم فتبدأ أعراضها فى الظهور على الأوراق المسنة .

وبدیهى أن تميز الأعراض باستعمال هذا الجدول يتطلب خبرة ومراناً طويلين ، كما أنه يجب أن يدخل فى اعتبارنا ما يظهر على النبات أحياناً من أعراض غير ناشئة عن نقص عنصر من العناصر ، ولكنها ناتجة عن عوامل أخرى كالإصابة بالحشرات أو الفيروس . كما أن زيادة الماء أو نقصه وكذلك الضوء ودرجة الحرارة ينعكس تأثيرها جميعاً على النبات فينمو نمواً غير عادى .

جدول (٢٧)

وصف مقارن لأعراض نقص العناصر فى النباتات

(مأخوذة بتصرف عن مالك مورترى Mc Mortrey — ١٩٥٠)

- (أ) أعراض محلية قاصرة على الأوراق المسنة ، أو تشمل النبات جميعه .
- (ب) أعراض محلية تظهر على هيئة بقع أو اصفرار عام ، مع وجود أو عدم وجود مساحات من الأنسجة الميتة على الأوراق السفلى ، جفاف قليل أو معدوم يبدو على الأوراق السفلى .
- (ج) الأوراق السفلى صفراء بين العروق الرئيسية عند القمة ، والحواف خضراء باهتة إلى بيضاء ، القمة والحواف مقوسة إلى أعلى ، مساحات الأنسجة الميتة غير موجودة عمادة . . ماغنسيوم

(ج) الأوراق المتبقعة أو الصفراء تحتوى على مساحات صغيرة أو كبيرة من الأنسجة الميتة .

(د) مساحات الأنسجة الميتة صغيرة ، وتوجد عادة عند القمة وبين العروق ، وهى أوضح ما تكون عند الحوافى ، الأوراق السفلى مقوسة إلى أسفل . . بوتاسيوم

(د) مساحات الأنسجة الميتة عامة ، تكبر بسرعة ، تشمل عادة المناطق بين العروق ، ثم لا تلبث أن تظهر فى العروق الثانوية فالابتدائية - السلاميات قصيرة . ذلك

(ب) أعراض عامة على النبات كله ، الأوراق السفلى تجف وتسقط ، النباتات خضراء باهتة أو داكنة .

(ج) النباتات خضراء باهتة ، الأوراق السفلى صفراء لا تلبث أن تجف وتتحول إلى اللون البنى الفاتح . . نيتروجين

(ج) النباتات خضراء داكنة ، يظهر عليها عادة اللون الأرجوانى أو الأحمر ، الأوراق السفلى صفراء أحياناً ، قد تتحول بجفافها إلى اللون البنى المنصر أو اللون الأسود ، تكون الثمار يتأخر عادة . . فوسفور

(أ) الأعراض محلية تظهر على النمو الطرفى الذى يشمل الأوراق العليا والبرعمية .

(ب) موت من القمة يشمل البرعم الطرفى ، ويسبق ذلك ظهور تشوهات عند قمم الأوراق الحديثة أو قواعدها .

(ج) أوراق البرعم الطرفى تبدو أولاً خضراء باهتة ، ثم تنثنى قممها إلى أسفل وأخيراً تبدأ فى الموت عند القمم والحوافى ، وإذا حدث نمو بعد ذلك تكون قمم الأوراق وحوافها مفقودة ، وفى النهاية يموت البرعم الطرفى كالسيوم

(ج) أوراق البرعم الطرفى متخصرة ، خضراء باهتة عند القواعد ، ثم تأخذ فى التحلل فى هذه المناطق ، وإذا حدث نمو بعد ذلك تكون الأوراق ملتفة أو مشوهة ، الأنسجة الوعائية فى مناطق التحلل داكنة ، وفى النهاية يموت البرعم الطرفى بورون

(ب) البرعم الطرفى يستمر حيا ، الأوراق الحديثة أو البرعمية ذابلة أو صفراء تحتوى أولا على مساحات من الأنسجة الميتة ، العروق خضراء باهتة أو داكنة .

(ج) الأوراق الحديثة ذابلة ذبولا دائما لا تبدو عليها بقع أو اصفرار واضح . الفروع التى تلى القمة مباشرة تكون مثنية غير قائمة وخاصة فى المراحل الأخيرة للنمو عندما يشتد نقص العنصر نحاس

(ج) الأوراق الحديثة غير ذابلة ولكنها صفراء : خالية أو محتوية على مساحات من الأنسجة الميتة مبعثرة على الورقة

(د) مساحات الأنسجة الميتة موزعة على الورقة الصفراء ،

والعروق الصغيرة تستمر خضراء . ومن ثم تبدو الورقة شبكية الشكل منجنيز

(د) مساحات الأنسجة الميتة غير موجودة عادة .

وقد يشمل الاصفرار العروق أو لا يشملها ، ومن ثم تبدو خضراء باهتة أو داكنة .

(هـ) الأوراق الحديثة - سواء فى ذلك العروق

أو ما بينها - خضراء باهتة ليست صفراء

أو بيضاء . والأوراق السفلى لا يعثر بها

الجفاف كبريت

(هـ) الأوراق الحديثة صفراء ، العروق الرئيسية

خضراء ، وعندما تفقد العروق لونها

الأخضر تبدو جميعها صفراء أو بيضاء

حديد

(ب) التحليل الكيميائي للتربة : فى هذه الطريقة تحلل التربة كيميائيا لمعرفة محتواها من العناصر الأساسية . غير أن تقدير تركيز عنصر ما فى التربة لا يعطى صورة واضحة لكمية هذا العنصر الميسورة للنبات ، فالكثير من الأملاح المعدنية يوجد فى التربة فى صورة غير صالحة للامتصاص . ولذلك يجب أن يقتصر تقديرنا للجانب الميسور للنبات من العنصر موضوع الدراسة ، وتستخدم لهذا الغرض مخاليط معينة من حمض الخليك المخفف وخلات الصوديوم ، ترج فيها عينة التربة ، ثم تقدر العناصر فى الراشح ، وبذلك نحصل على صورة تقريبية لحالة التربة .

وهذه الطريقة غير دقيقة ، لأن ما يذوبه محلول الاستخلاص من أملاح التربة لا يمثل تماما الميسور منها للنبات . إذ أن خواص محلول التربة الطبيعي - ومن ثم الميسور من أملاحه المعدنية - يختلف كثيراً باختلاف نوع التربة ومحتواها من المواد العضوية ، كما يختلف باختلاف الظروف الجوية . كذلك فإن عينة التربة - ما لم تكن قد اختبرت وخلطت بدقة - لا تمثل محتوى التربة الحقيقى من العناصر فى مساحاتها الكبيرة وأغوارها البعيدة .

(ج) الاختبار الاحيائى للتربة : وتعتمد هذه الطريقة على زراعة أحد نباتات المحاصيل فى التربة المراد اختبار محتواها من العناصر ، وتجرى الزراعة فى مساحات محدودة من الحقل أو فى أصص تحتوى على قدر كبير نسبياً من تربة نفس الحقل ، وتضاف مثلاً أملاح عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم منفردة ومجمعة إلى التربة مع الإبقاء على عينات غير معاملة للمقارنة ، ثم يقدر محصول النباتات أو نموها الحضرى فى المعاملات المختلفة ويقارن بمحصول النباتات غير المعاملة . فإذا كان محصول النباتات التى عوملت بالبوتاسيوم وحده مثلاً يفوق محصول نباتات المقارنة بدرجة ملموسة وكان فى نفس الوقت معادلاً فى جودته لمحصول النباتات التى عوملت بمخلوط البوتاسيوم والنيتروجين والفوسفور فإنه يصبح من الواضح أن التربة تعاني من نقص البوتاسيوم فقط ، وهكذا . .

، ورغم طول المدة التى تستغرقها هذه الطريقة ، فإنها تعتبر من أفضل الطرق فى الكشف عن محتوى التربة من العناصر .

وتستغل أيضاً في الاختبار الأحيائي للتربة بعض الكائنات الدقيقة — كالبكتيريا والفطريات — التي تشبه النباتات الراقية من حيث استجابتها الإنمائية للأملاح المعدنية الميسورة في التربة ، إذ توجد علاقة طردية بين الكمية الميسورة من ملح ما ومدى نمو البكتيريا أو الفطرية المستغلة . وترجع هذه الطريقة إلى عام ١٩٠٩ عندما استعملت الفطرية أسبيرجيلس نيجر (*Aspergillus niger*) لتعيين الكمية الميسورة في التربة من البوتاسيوم والفوسفور ، وسنشرح كمثل للاختبار الأحيائي للتربة باستغلال هذه الفطرية طريقة بنيك وسودنج (Benecke & Soding) لتعيين كمية البوتاسيوم .

وتجرى هذه الطريقة بتحضير منبت غذائي مناسب لنمو الفطرية ويكون خالياً من أملاح البوتاسيوم . ويقسم في دوارق إرلنمير في مجموعتين ، بحيث يحتوي كل دورق على خمسين مليلتراً منه ، ويضاف كلوريد البوتاسيوم إلى إحدى المجموعتين في درجات تركيز تتراوح بين ٠,٠٠٠٢٥ و ٠,٠٠٠٢٪ ، وتضاف التربة المختبرة — بعد تعقيمها — إلى المجموعة الثانية بكميات تتراوح بين ١٢ و ٥٠ غرام ، ويحقن المنبت الغذائي في كل دورق بمعلق مائي لجراثيم الأسبيرجيلس نيجر ، ويحضان عند درجة حرارة ٣٥° مئوية لمدة ستة أيام ، ويمكن تعيين كمية البوتاسيوم الميسورة في التربة المختبرة بمقارنة نمو الفطرية في المجموعتين ، ويبين (جدول ٢٨) بعض الفطريات والبكتيريا المستغلة في الاختبار الأحيائي للتربة .

(د) التحليل الكيميائي للنبات: تعتمد هذه الطريقة على أن تركيز عنصر ما في الأنسجة النباتية يتوقف على كميته الميسورة للنبات في التربة أو محلول التغذية . فإذا حللت الأنسجة النباتية لتقدير محتواها من أحد العناصر ، وربط بين هذا وبين المحصول النهائي ، أمكننا تقدير حاجة النباتات لإضافات جديدة من هذا العنصر . وتركيز عنصر ما في النسيج النباتي لا يعتمد على ما يضاف منه إلى التربة فحسب بل يتوقف أيضاً على نوع النبات ، والظروف الجوية ، ونوع العضو النباتي المستعمل في التحليل . وقد وجد أن الأوراق أكثر أعضاء النبات استجابة لما يحدث من تغيرات في محتوى التربة من العناصر ، ولذلك فإنها تستخدم عادة في التحاليل العنصرية .

جدول (٢٨)

بعض البكتيريا والفطريات المستغلة في الاختبار الأحيائي للتربة ، وبيان طريقة الاختبار : -

الملاح المعادنى المختبر	الكائن المستغل فى الاختبار	معيار الاختبار
البوتاسيوم والفوسفور	أزوتوباكتريا كروكوكم (Azotobacter chroococcum)	حجم وغزارة المستعمرات النامية على مستخلصات التربة
الفوسفور	أسبيرجيلس نيجر (Aspergillus niger)	وزن الغزل الفطرى أو بالتحليل الكيميائى للفطرة
النحاس ، الماغنيسيوم ، الموليبدنيم	كاننجهاميلا (Cunninghamella)	حجم النمو الفطرى
الزنك	أسبيرجيلس نيجر	كثافة لون الجراثيم
المنجنيز	لاكتوباسيللس أرايدينوس (Lactobacillus arabinosus)	كثافة لون الجراثيم أو وزن الغزل الفطرى
		معايرة الحمض المتكون

ففى إحدى التجارب التى أجريت على أحد أنواع نباتات البرسيم قدر التغير فى الوزن الجاف للنباتات بتغير تركيز الفوسفور فى الورقة ، ووجد أنه فى التركيزات المنخفضة من الفوسفور يكون الوزن الجاف منخفضاً ثم يأخذ فى الزيادة كلما إزداد محتوى الأوراق من العنصر ، وذلك حتى درجة معينة لا يكون لازدياد المحتوى الفوسفورى بعدها تأثير يذكر على وزن النبات (شكل ٣٧٩) .

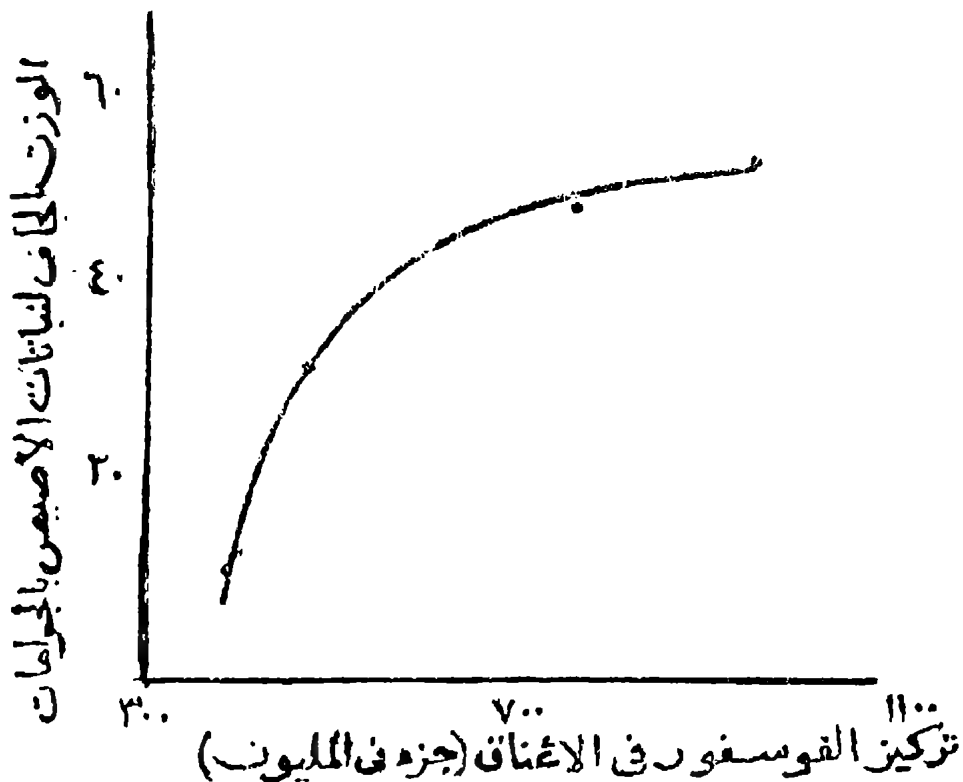
فإذا كان لدينا برسيم ينمو فى بيئة غير معلوم تكوينها العنصرى فإنه بتحليل الأوراق لمعرفة تركيز الفوسفور وتطبيق المنحنى اللاحق يمكننا معرفة ما إذا

كان النبات في حاجة لمزيد من الفوسفور أم لا ، وذلك لكي يتحقق الحصول على أقصى محصول ممكن .

ويمكن بالطبع تطبيق ما اتبع بالنسبة للفوسفور على غيره من العناصر الأساسية . وقد استعملت هذه الطريقة لتقدير الاحتياجات العنصرية لقصب السكر وبنجر السكر والعنب وأشجار الفواكه متساقطة الأوراق وغيرها من المحاصيل .

وعلى الرغم من أن هذه الطريقة تعرضت لانتقادات كثيرة ، منها صعوبة اختيار عينات تمثل النباتات تمثيلاً صادقاً ، كما أن التركيب الكيميائي للأنسجة المتماثلة في النباتات المختلفة للنوع الواحد تتفاوت تفاوتاً كبيراً ، والظروف البيئية لها تأثيرها المباشر - وخاصة على الأنسجة غير البالغة - فإنها تعتبر من أكثر الطرق اتباعاً في تقدير الحالة العنصرية للنبات .

(شكل ٣٧٩)



منحنى العلاقة بين الوزن الجاف لنبات الاصبص وتركيز الفوسفور في أنسجته ، وقد نمت النباتات في هذه التجربة في تربة أحرمت إليها كميات مختلفة من مغيب فوسفاتى ، ثم سللت الأغصان وقت الحصاد (أوارتش ١٩٤٨) .

الباب الثامن والثلاثون

الإنبات والكهون

استعرضنا فى الباب الثالث تركيب البذرة والأطوار المختلفة التى تمر بها أثناء الإنبات . وسنتحدث فى هذا الباب بشىء من التفصيل عن العوامل المختلفة التى تساعد على الإنبات ، سواء منها ما كان متعلقاً بالظروف البيئية الخارجية أو البذرة نفسها، ويتطلب الإنبات كما نعلم توافر عدد من العوامل الخارجية : الماء ودرجة الحرارة المناسبة والأكسجين والضوء فى بعض الحالات . على أن توفر مثل هذه العوامل لا يودى بالضرورة إلى إنبات البذرة بل قد تظل الأخيرة كامنة ، متأثرة فى ذلك بظروفها الداخلية . ولذلك فهناك أيضاً عوامل داخلية قد تؤثر فى إنباتها .

العوامل الخارجية

(١) الماء: تحتوى البذور على قدر ضئيل من الماء ، إلا أن نسبته فى خلايا البذرة غير المستنبطة تقل كثيراً جداً عن نسبته فى الخلايا النامية لنفس النوع . وطالما بقيت البذرة جافة فإنها لا تنبت ، وذلك لأن العمليات القسيولوجية التى تجرى فى الخلايا الحية - وأهمها تحويل الغذاء المدخر إلى مواد بسيطة سهلة الانتقال - تحدث كلها تقريباً فى وسط مائى ، ومن ثم أصبح امتصاص البذرة للماء ضرورياً للإنبات . وبامتصاص الماء تبدأ سلسلة من العمليات الفيزيائية والكيميائية ، تنتهى - مالم تكن هناك عوامل محددة أخرى - بانبثاق الجنين أو جزء منه من البذرة .

ويتم امتصاص البذور للماء فى المراحل الأولى للإنبات أساساً بواسطة التشرب ، إلا أنه كلما زادت كمية الماء الممتص ، وتكونت فى الخلايا فجوات تحتوى على عصير خلوى ذى ضغط أزموزى مرتفع ، فإن معظم الامتصاص يتم بالخاصة الأزموزية .

وتتفاوت كمية الماء التي تمتصها البذور أثناء الإنبات تفاوتاً كبيراً ، ليس بين الأنواع المختلفة فحسب بل وبين أصناف النوع الواحد أيضاً . ويمكن القول بوجه عام إن بذور القرنيات تتميز بامتصاصها لكميات كبيرة من الماء أثناء الإنبات ، أما الحبوب والبذور التي تحتوى على نسبة عالية من الدهن فتمتص قدراً أقل .

وليس من الضروري أن يتبع امتصاص البذرة للماء إنباتها ، فالبذرة غير الحية قد تمتص الماء بالتشرب . وعلى النقيض من ذلك لايعنى عدم امتصاص البذرة للماء أنها فقدت قدرتها على الإنبات ، فبعض البذور - كبذور بعض النباتات القرنية - لها أغلفة سميكة صلبة تقاوم مرور الماء خلالها لمدة طويلة . مثل هذه البذور يمكن أن تمتص الماء بسرعة إذا نزع جزء من أغلفتها ، وفي بعض الأحيان يؤدي غمس البذور في حمض كبريتيك مركز لفترة من الوقت إلى أن تصبح الأغلفة منفذة للماء ، وتظل البذور في هذه الحالة محتفظة بقدرتها على الإنبات ، ما لم يكن غمسها في الحمض قد استمر فترة طويلة ، وفي حالات أخرى تؤدي معالجة البذرة بالماء الدافئ إلى نفس النتيجة . وتختلف البذور في تحملها لدرجات الحرارة المختلفة ، فعلى حين لاتصاب بذور النفل العربي (*Medicago arabica*) بأذى إذا غمست في ماء يغلي لمدة سبع ساعات ونصف فإن بذور أحد أنواع اللبخ (*Albizia moluccana*) قد تتلف إذا غمست في ماء درجة حرارته ٨٠ - ١٠٠°م .

(٢) درجة الحرارة : لكل نوع من النباتات مدى معين من درجات

الحرارة تنبت فيه بذوره. فإذا ما ارتفعت درجة الحرارة أو انخفضت كثيراً عن هذا المدى ، عجزت البذور عن الإنبات حتى لو توفرت لها ظروف الإنبات الأخرى . وفي المدى الحرارى للإنبات يتأثر معدل العملية كثيراً بالتغير في درجة الحرارة . وكسائر العمليات الحيوية ، يمكن تمييز ثلاث درجات حرارة رئيسية للإنبات هي : الدرجات الصغرى والمثلى والقصى ، والدرجة الصغرى هي أقل درجة يحدث عندها الإنبات ، والقصى هي

النهاية العظمى للمدى الحرارى للإنبات ، أما الدرجة المثلى فهي الدرجة التى يكون الإنبات عندها أسرع ما يمكن ، ويضم الجدول (٢٩) هذه الدرجات الرئيسية لإنبات بذور بعض النباتات ، كما قدرها هابرلانت .

جدول (٢٩)

درجات الحرارة الصغرى والمثلى والقصى
لإنبات بذور بعض أنواع النباتات (درجة مئوية)

نوع النبات	الدرجة الصغرى	الدرجة المثلى .	الدرجة القصوى
القمح	٤,٨ - صفر	٢٥ - ٣١	٣١ - ٣٧
الذرة	٤,٨ - ٣٠,٥	٣٧ - ٤٤	٤٤ - ٥٠
القنب	٤,٨ - صفر	٣٧ - ٤٤	٤٤ - ٥٠
عباد الشمس	٤,٨ - ١٠,٥	٣١ - ٣٧	٣٧ - ٤٤
الكتان	٤,٨ - صفر	٢٥ - ٣١	٣١ - ٣٧
البطيخ	١٥,٦ - ١٨,٥	٣١ - ٣٧	٤٤ - ٥٠

ويمكن القول بوجه عام أن بذور نباتات المناطق المعتدلة - كالقمح - تنبت فى مدى حرارى أكثر انخفاضاً من ذلك الذى تنبت فيه بذور نباتات المناطق الاستوائية وتحت الاستوائية كالبطيخ والذرة .

ويزداد معدل الانبات بارتفاع درجة الحرارة - داخل حدود المدى الحرارى للعملية - بشرط ألا يكون هناك عامل آخر محدد للعملية . وفى درجات الحرارة المرتفعة عن الدرجة المثلى يكون معدل الإنبات فى بدايته أسرع كلما زاد ارتفاع درجة الحرارة ، غير أنه ينخفض مع الوقت ، ويكون الانخفاض أسرع كلما كانت درجة الحرارة مرتفعة . ومن ثم فإن الدرجة المثلى يجب أن تعرف بأنها أعلى درجة يستمر عندها الإنبات غير متأثر بعامل الوقت .

وتأثير درجة الحرارة على الإنبات يكاد يكون فى المراحل الأولى للعملية مقصوراً على تشرب البذور للماء . وقد اتضح من تجارب بعض الباحثين أن

ارتفاع درجة الحرارة لا يؤثر في كمية الماء التي تتشربها البذرة بل في سرعة التشرب ، فيصحب الارتفاع في درجة الحرارة زيادة في معدل الامتصاص فقط . وقد قدر شول (Shull) تأثير درجة الحرارة في امتصاص بذور بعض النباتات للماء ووجد أن المعامل الحرارى في المدى من ٥ - ٣٥°م يتراوح بين ١,٦ و ١,٨ تقريباً . وتزيد هذه القيمة عن المعامل الحرارى للتماعلات الفيزيائية ، وقد فسر شول ذلك بأن ثمة تغيرات كيميائية تحدث في المادة الغروانية للبذرة . وبالإضافة إلى ما تقدم يسبب ارتفاع درجة الحرارة زيادة النشاط الإنزيمى وسرعة انتشار المواد الغذائية الذائبة من جزء إلى آخر داخل البذرة .

(٣) الأكسيجين : تحتاج البذور لكي تنبت إلى وجود الأكسيجين . فإذا خلا الجو من الأكسيجين أو كان يحتوي على قدر ضئيل منه عجزت البذور عن الإنبات . فقد وجد أن عمر بعض البذور في الماء يفقدها القدرة على الإنبات وخاصة إذا كان الماء خالياً تماماً من الأكسيجين ، وحتى معظم النباتات المائية لا تستطيع الإنبات في الحالة الأخيرة .

وبدیهى أن الحاجة إلى الأكسيجين وقت الإنبات منشؤها نشاط عملية التنفس الذى يصاحب نمو الجنين ويتضمن التنفس امتصاص الأكسيجين وانطلاق ثانى أكسيد الكربون .

وعلى الرغم من أن إنبات الكثير من البذور يتأخر أو يتوقف عند نقص نسبة الأكسيجين ، فإن موريناجا (١٩٢٦) وجد أن بذور البوط (*Typha latifolia*) تنبت في الضغوط المنخفضة من الأكسيجين بدرجة تفوق كثيراً إنباتها في الهواء ، كما وجد أيضاً أن بذور كثير من النباتات تستطيع أن تنبت تحت الماء ، والبذور الصغيرة أقدر على الإنبات في هذه الحالة الأخيرة من البذور الكبيرة .

وبذور بعض الأعشاب الشائعة قد تبقى مدفونة في أعماق التربة لعدة سنين دون أن تنبت ، فإذا ماتعرضت بعد ذلك على السطح - نتيجة حرث

التربة أو قلبها - فإنها تنبت في الحال . وبديهي أن السبب في تأخر إنبات هذه البذور هو نقص نسبة الأكسجين أو زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون أو كلاهما معاً في هذه الأغوار البعيدة نسبياً من التربة .

وقد يكون تأخر الإنبات في بعض البذور راجعاً - على الأقل جزئياً - إلى أن أغلفتها غير منفذة للأكسجين لدرجة ما . ومن الأمثلة الواضحة على ذلك البذرة العليا في ثمرة نبات الشبيط التي لا تنبت في الظروف العادية إلا بعد عدة شهور أو حتى سنين . فإذا عولج غلاف البذرة بحيث أصبح منفذاً للأكسجين أو زيد ضغط الأكسجين حول البذور فإنها سرعان ما تنبت .

(٤) الضوء : يؤثر الضوء في الإنبات بدرجات متفاوتة ، ففي غالبية النباتات لا يكون للضوء تأثير في إنبات البذور . وتوصف البذور في هذه الحالة بأنها متعادلة بالنسبة للضوء (Light - indifferent seeds) . وتنتمي إلى هذه المجموعة بذور معظم النباتات ذات الأهمية الزراعية . وفي مجموعة أخرى من النباتات يساعد الضوء على الإنبات ، وقد لا يحدث الإنبات - في نباتات معينة مثل شجرة الدبق (Mistletoe) ما لم تعرض البذور فترة للضوء ، وتعرف بذور هذه المجموعة بالبذور الحساسة للضوء (Light-sensitive seeds) ، ومن أمثلتها بذور نبات البوصير (Verbascum thapsus) وبعض نباتات الفصيلة الكراسيولاسية (Crassulaceae) ونبات الفرندل (Lathyrus solitaria) . وعلى النقيض من بذور هذه المجموعة ، يسبب تعريض بذور بعض النباتات للضوء تأخر إنباتها أو عدم حدوثه على الإطلاق وتوصف هذه البذور بأنها غير قابلة للضوء (Light-hard seeds) ، ومن أمثلتها بذور البصل وكثير من نباتات الفصيلة الزنبقية ، وأحد أنواع الفلوكس (Phlox drummondii) وجنس نيموفيل (Nemophila) .

وفي بعض الحالات تكون كمية الضوء اللازمة لإنبات البذور الحساسة للضوء ضئيلة جداً ، فبذور نبات التبغ إذا عرضت للضوء المنتشر وهي في تمام انتفاخها مدة ساعة واحدة كان ذلك كافياً لاستحثاث الإنبات ، وثمة

مثل آخر أكثر غرابة هو مالملاحظ عند استنبات بذور نوع الفرندل (*Lythrum solitaria*) . فقد وجد عند حفظ البذور في الظلام عند ٣٠°م أن ٦ - ٧ ٪ من البذور تامة الإنبعاث قد تنبت في خلال ٢٤ ساعة ، ولم تزد تلك النسبة زيادة ملموسة بعد فترة طولها ٧ أيام . فلما عرضت البذور بعد ذلك إلى ضوء شدته ٧٣٠ شمعة قديمة مدة ١/٢ ثانية فقط كان ذلك كافياً لزيادة الإنبات إلى ٥٠ ٪ في خلال ٢٤ ساعة .

ودور الضوء في الإنبات يتأثر إلى درجة كبيرة بغيره من العوامل الجوية ومن أهم هذه العوامل عمر البذرة ، ودرجة الحرارة ، وطبيعية الوسط ، وقد يكون لضغط الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون تأثير في بعض الأحيان . فإنبات بذور بعض النجيليات - كأنواع السبل (*Poa spp.*) - يتأثر في الظروف العادية بالضوء ، فإذا خزنت تلك البذور وهي جافة لفترة من الزمن اختفى هذا التأثير . كذلك قد تنبت بذور نبات التبغ في الظلام إذا تعرضت لمعاملات متعاقبة من الحرارة (٨ ساعات يومياً عند ٥٥°م و ١٦ ساعة عند ٢٣°م) . وبالمثل تستطيع بذور البرسمون (*Chloris ciliata*) الحساسة للضوء أن تنبت في الظلام التام إذا أحيطت بجو من الأكسجين النقي ، وقد لاحظ بعض الباحثين أن نزع أغلفة البذور الحساسة للضوء أو معاملتها بالماء الدافئ أو نقعها في فوق أكسيد الإيدروجين أو حمض الكلوريدريك قد ينتج عنها نفس التأثير .

وفعل الضوء في إنبات البذور غير واضح تماماً ، وفي سبيل تفسير ذلك وضعت ثلاثة فروض يفسر كل منها حالات معينة فحسب . وأول هذه الفروض يعتبر أن الضوء يعمل كحافز للإنبات ، أما الفرض الثاني فيعتبر الضوء عاملاً مساعداً ، على حين يفترض الثالث أنه في أثناء الإنبات تتكون مواد مثبطة ، وأن تكونها يتوقف في وجود الضوء ، وعلى ذلك فإنه في حالة البذور الحساسة للضوء لا يحدث الإنبات إلا إذا وجد الضوء أو أى عامل آخر من شأنه أن يوقف تكون المادة المثبطة .

الكمون

لاستطيع أنواع كثيرة من البذور - وإن بدأت ناضجة - أن تنبت حتى ولو هيئت لها كل الظروف المساعدة على الإنبات . ويعزى عدم الإنبات في مثل هذه الظروف إلى عوامل داخل البذور نفسها . ويستخدم اصطلاح « الكمون » (Dormancy) للتعبير عن حالة هذه البذور ، فيقال أنها في حالة كمون . . .

ويعزى كمون البذور إلى عدد من العوامل ، وقد يكون الكمون في بعض البذور راجعاً إلى عامل أو أكثر من هذه العوامل ، وفيما يلي دراسة موجزة لأهم هذه العوامل :

(١) عدم اكتمال نضج الجنين : في بعض أنواع البذور لا تكون الأجنة عند انتشارها ناضجة ، ولا بد لها لكي تنبت أن يتم نضجها ، ويبدأ الجنين في استكمال نموه عندما تتوفر للبذرة الظروف المواتية للإنبات ، وقد يستغرق ذلك فترة زمنية تتراوح من أيام قليلة إلى عدة شهور . ويوجد هذا النوع من الكمون في شجرة المعبد (Ginkgo biloba) ونبات الماميران الصغير (Ranunculus ficaria) ولسان العصفور (Fraxinus excelsior) وكثير من الأراشد .

(٢) عدم إنفاذ غلاف البذرة للماء والأكسجين : في كثير من النباتات تكون أغلفة البذور غير منفذة تماماً للماء في وقت نضجها . ومن أمثلة ذلك بذور كثير من النباتات البقلية كالسنت والبرسيم وبسلة الزهور ، كما يوجد هذا النوع من الكمون في بعض الفصائل الأخرى كالفصيلة الحبازية . وتصبح أغلفة بذور هذه النباتات بالتدريج منفذة للماء في مدة تخزينها . ويكون هذا التحول بطيئاً جداً إذا خزنت البذور جافة ، وأقل بطئاً إذا توفرت لها الظروف المواتية للإنبات ، غير أن هذا التحول يتم سريعاً إذا تعرضت البذور لتقلبات بيئية أشد من تلك التي توجد في الظروف العادية . وقد تعمل بعض أنواع البكتيريا والفطريات على زيادة إنفاذ أغلفة البذور للماء ، ومن ثم تقصر فترة كمون بعض أنواع البذور التي تكون مدفونة في الطبقات السطحية من التربة .

وقد يكون الكمون راجعا إلى عدم إنفاذ أغلفة البذور للأكسيجين بدرجة تامة أو جزئية ، كما هو الحال في نبات الشبيط الذى سبقت الإشارة إليه ، فثمرة الشبيط تحتوى على بذرتين ليستا في درجة واحدة من الكمون فعلى حين تنبت البذرة السفلى في الربيع التالى لنضجها ، فإن البذرة العليا تبقى كامنة إلى العام التالى . ويعزى ذلك إلى أن أغلفة البذور الأخيرة غير منفذة للأكسيجين ، فإذا نزع غلاف البذرة أو زيد تركيز الأكسيجين حول البذرة الصحيحة حدث الإنبات . وفي الظروف العادية تصبح الأغلفة منفذة للأكسيجين بالتدريج ، ومن ثم كان التناقص التدريجى في حدة الكمون . ويبدو أن الكمون الموجود في بذرة عدد من الحشائش وكثير من نباتات الفصيلة المركبة مرده إلى عدم إنفاذ أغلفه البذور للأكسيجين .

(٣) مقاومة غلاف البذرة للتمزق : ويوجد هذا النوع من الكمون في بذور بعض الأعشاب الشائعة مثل الخردل ومزمار الراعى (Alisma) وكيس الراعى والدلاق (Amaranthus retroflexus) ، حيث تبقى البذور في حالة كمون لأن أغلفتها من القوة بحيث تحول دون انبثاق الجنين . وبذور مزمار الراعى إذ حفظت جافة تظل كامنة عدة سنين ، أما بذور الدلاق فعلى العكس منها تخرج من كمونها في شهور قليلة إذا حفظت في ظروف مماثلة ، ويعزى ذلك دون شك لحدوث تغيرات في المكونات الغروية للقصرة تجعلها أقل مقاومة لانتفاخ البذرة . على أن هذه البذور الأخيرة إذا ظلت مشبعة بالماء فإنها تحتفظ بكمونها لعدة سنين . والطرق المتبعة لإزالة هذا النوع من الكمون هي خدش أغلفة البذور أو معاملة بمحضر الكبريتك وقد يكون لبعض الأحماض الأخرى والقلويات تأثير مماثل .

(٤) كمون الجنين : في كثير من النباتات تعجز الأجنة عن الإنبات بعد نزع أغلفة البذور ، حتى ولو هيئت لها كل الظروف المواتية للإنبات . في هذه الحالة تحدث قبل الإنبات تغيرات معينة في الجنين ، ويجب أن نميز بين هذا النوع من الكمون وذلك الذى يعزى إلى عدم اكتمال نضج الجنين .

فالجنين في النوع الأخير تحدث به تغيرات شكلية ، أما في هذا النوع من الكمون موضوع الدراسة فهو مكتمل النمو ولا تحدث به غير تغيرات فيزيائية معينة . ومن بين الأنواع الكثيرة من النباتات التي يوجد في بذورها هذا النوع من الكمون التفاح والخوخ والزعرور البري والشوكران . ويمكن تقصير فترة الكمون بمعالجة البذور بالأحماض .

ومن الممكن أن يكون في بعض البذور الحساسة للضوء كمون من هذا النوع ، وأن تعريض هذه البذور للضوء من شأنه أن يعجل بالعمليات التي تحدث في فترة ما بعد النضج .

الكمون الثانوى : بعض البذور القادرة على الإنبات بعد نضجها مباشرة تفقد هذه القدرة وتدخل في حالة من الكمون - يعرف بالكمون الثانوى - إذا حفظت لفترة ما في ظروف غير ملائمة للإنبات . فعلى سبيل المثال إذا عرضت بذور الخردل الأبيض لتركيزات عالية من ثانى أكسيد الكربون فإنها تعجز عن الإنبات - حتى لو توفرت لها كل الظروف الملائمة - لفترة طويلة عقب إزالة هذا الغاز . وقد تمر البذور الحساسة للضوء بفترة من الكمون الثانوى إذا حفظت في الظلام ، كما أن البذور التي لا تنبت إلا في الظلام ، قد تصيبها حالة من الكمون إذا عرضت للضوء . وقد يستحث الكمون الثانوى في بعض أنواع البذور إذا تعرضت لدرجات من الحرارة تقل عن الدرجة الصغرى أو تزيد عن الدرجة القصوى للإنبات .

وينشأ الكمون الثانوى عادة نتيجة تغيرات معينة في غلاف البذرة ، وذلك لأن الأجنة في بعض أنواع البذور تستطيع أن تنمو مباشرة بعد نزع الأغلفة . وفي أنواع أخرى من البذور ينتج الكمون الثانوى من تغيرات فسيولوجية تحدث في الجنين ، والكمون الثانوى - كالاتدائي - يمكن أن يزول بمعاملات خاصة .

أمد احتفاظ البذور بحيويتها

تحتفظ البذور بحيويتها لمدة تتفاوت تفاوتاً كبيراً في الأنواع المختلفة من

النباتات ، وكلما طال زمن حفظ البذور فإنها تفقد قدرتها على الإنبات تدريجياً حتى تموت . فمثلاً ، بذور بعض أنواع جنس الأكساليس تنبت عندما تكون غضة بعد خروجها من الثمرة مباشرة ، ولكنها تموت عندما تجف . وبذور الأنواع المختلفة من جنس الصفصاف تنبت خلال ١٢ ساعة إذا زرعت بعد نضجها مباشرة ، ويستغرق الإنبات وقتاً أطول إذا حفظت البذور لأيام قليلة ، فإذا حُفظت لمدة أطول فقدت قدرتها على الإنبات نهائياً . وتحتفظ بذور جنس الحور بحيويتها لفترة أطول ، ولكنها لا تزيد على أسابيع قليلة ، وتحتفظ بذور كثير من محاصيلنا الزراعية بحيويتها لمدة أطول نسبياً ، فبذور البصل والخس والجزر والقرنبيط تفقد قدرتها على النمو بعد سنتين أو ثلاث من تخزينها في الظروف العادية ، وتفقد الحبوب نسبة ضئيلة من حيويتها إذا طالت مدة حفظها من ٥ إلى ١٠ سنوات . على حين أن بذور البقوليات كالبرسيم والبازلاء والبقلاء تحتفظ بالكثير من حيويتها لمدة تتراوح بين ١٠ و ٢٥ سنة . وتتميز البذور التي تحتفظ بحيويتها لمدة طويلة بقصرات سمكة صلبة عادة ، وغير منفذة للماء والغازات في بعض الأحيان .

على أن هناك حالات متطرفة تحتفظ فيها البذور بحيويتها لمدة طويلة جداً فقد نجح بيكرل (١٩٣٥) في إنبات بذور نوع من جنس الكاسيا كانت محفوظة في متحف التاريخ الطبيعي بباريس مدة ١١٥ سنة . وقد ذكر في وقت من الأوقات أن ثمة حبوباً وجدت مدفونة مع مومياء قدماء المصريين ، يتراوح عمرها بين ٢٠٠٠ و ٥٠٠٠ سنة وأن بعض هذه الحبوب قد نبتت . غير أن هذا القول لا شك زائف ، فقد أثبت الفحص الدقيق أن هذه الحبوب حديثة وأن وجودها في هذه الأماكن وليد ظروف خاصة .

ومن الجدير بالذكر أن إنبات البذور المسنة يكون بطيئاً وضئيلاً كما أن البادرات الناتجة تكون في العادة ضعيفة وتكثر فيها التشكلات الشاذة .

وقد وضعت فروض كثيرة لتفسير فقد البذور لحيويتها كلما طالت مدة حفظها . نتمد رأينا فيما سبق أن مجرد الجفاف قد يؤدي إلى قتل بعض أنواع

البذور ، غير أن البذور التي تحتل الجفاف بسهولة لا تكون فقدان الحيوية فيها بسبب طول العمر راجعا إلى الجفاف ، بل في الحقيقة يتأخر موت هذه البذور بحفظها وهي جافة تماما . وحيث أن الأنسجة الحية - حتى عندما تجف في الهواء - تقوم بعملية التنفس بمعدل بطيء ، فقد أصبح من المعقول أن المواد الغذائية المدخرة تستهلك بالتدريج ومن ثم تموت الخلايا في النهاية من الجوع . غير أن معظم البذور - باستثناء بذور الأراشد - التي فقدت حيويتها في أثناء مدة تخزينها الطويلة وجدت محتوية على قدر وافر من المواد الغذائية .

وقد عجز بعض الباحثين فقدان البذور لحيويتها إلى تلف الإنزيمات اللازمة لتحويل المواد الغذائية المدخرة إلى مواد بسيطة سهلة الانتقال . غير أنه قد أمكن الحصول على هذه الإنزيمات في حالة نشيطة من بذور فقدت حيويتها منذ عدة سنوات . ويعتبر كروكر وجروفر (Crocker & Groves) أن فقدان الحيوية في البذور التي تخزن وهي جافة راجع إلى تغير طبيعة البروتينات أو تجمدها في بروتوبلازم الجنين . ومما يرجح هذا الرأي أن البروتينات العادية كزلال البيض تتجمد بسرعة عند درجة الغليان ، ولكنها تتجمد في درجة الحرارة المنخفضة إذا تركت لمدة طويلة .

ويمكن إطالة فترة احتفاظ البذور بحيويتها بحفظها في درجات حرارة ورطوبة نسبية منخفضة . وقد يكون لبعض العوامل الداخلية - مثل درجة نضج البذور عند حصادها ، ومحتواها المائي عند تخزينها ، وكذلك بعض العوامل الوراثية - أثر كبير في تحديد فترة حيوية البذور .

الباب التاسع والثلاثون

النمو

تتميز جميع النباتات — على اختلاف صورها ودرجات تعضيها — بقدرتها على التغير البطيء طوال فترة حياتها، فهي لا تخلق بالغة تامة التركيب، بل تنشأ صغيرة ثم تكبر بتدرج وانتظام حتى تصل إلى مرحلة البلوغ والتكاثر. وقد لا تتجاوز هذه التغيرات في الكائنات وحيدة الخلية زيادة ظاهرية في الحجم حتى تصل إلى مثل حجم الخلية الأبوية ثم تبدأ بدورها في الانقسام. أما في النباتات عديدة الخلايا — وخاصة الوعائية منها — فإن هذه التغيرات تتضمن تعقيداً ملحوظاً في أجسامها، من شأنه أن يجعلها متميزة إلى أجزاء مختلفة الشكل والوظيفة، فيترتب على ذلك ما يسمى « بالتقسم الفسيولوجي للعمل ». بمعنى أن كل وظيفة يقوم بها عضو أو مجموعة أعضاء معينة. وفي نفس الوقت لا تعمل هذه الأعضاء مستقلة عن بعضها البعض بل أن هناك تناسقاً بين نشاط مختلف الأجزاء بحيث يبدو النبات وحدة متناسقة.

ويشتمل التطور في الشكل على النمو. وقد يستعمل لفظا « النمو » و « التطور » في بعض الأحيان كترادفين، وإن كان يقصد بالتطور أحياناً تغير الشكل والصورة ودرجة التعقيد الذي يحدث بالكائن الحي، بينما يشتمل النمو على الزيادة في الحجم فقط. ولما كان الازدياد في الحجم قد ينشأ من زيادة المحتوى المائي، وهي زيادة قد تكون مؤقتة تزول بزوال المؤثر — فقد أصبح تعريف النمو بأنه زيادة في الحجم فحسب غير واف. وقد أخذت الزيادة في الوزن الجاف في بعض الأحيان كتعبير عن النمو، إلا أن هذه الزيادة قد تكون ناتجة عن إضافة مادة غير حية لعلاقة لها بالنمو، كذلك يحدث أحياناً أثناء الإنبات أن ينقص الوزن الجاف للبادرة على الرغم من الزيادة الملحوظة في حجمها ودرجة تشكلها. وعلى ذلك يعرف النمو بأنه الزيادة

الثابتة في الحجم التي تقترن عادة - وليس دائماً - بالزيادة في الوزن الجاف وفي كمية البروتوبلازم .

والمادة الجافة التي تدخل في تركيب كل من البروتوبلازم والجدار الخلوي أثناء النمو تأتي كلها من عملية البناء الضوئي وغيرها من عمليات البناء . وعلى ذلك فمن الضروري لكي يحدث النمو أن تزيد كمية المواد التي تدخل إلى جسم النبات من البيئة المحيطة به على ما يفقده في عملية التنفس - هذا على الرغم من أن النبات قد ينمو لفترات قصيرة ومع ذلك يفقد بعض وزنه الجاف كما سبق أن ذكرنا - وقد وجد فعلاً أنه في أثناء فصل النمو يكون معدل البناء الضوئي أضعاف معدل التنفس .

مناطق النمو ومراحله : يتميز النمو في النباتات الراقية بصفيتين هامتين : الأولى أنه يستمر - ولو بدرجات متفاوتة - طول حياة النبات ، والثانية أنه ينحصر في مناطق خاصة تعرف بمناطق النمو ، مثل أطراف الجذور وقمم السيقان ومنطقة الكامبيوم ، وقد سبق أن تناولنا وصف هذه المناطق بالتفصيل في القسم الخاص بالتشريح . ويتم النمو في هذه المناطق على ثلاث مراحل تعرف بمراحل النمو ، وهي مرحلة الانقسام الخلوي (Cell division) ، ومرحلة الزيادة في حجم الخلية (Cell enlargement) ومرحلة التميز الخلوي (Cell differentiation) .

(أولاً) مراحل الانقسام الخلوي : تتكون في هذه المرحلة خلايا جديدة بسبب انقسام خلايا خاصة تعرف بالخلايا الإنشائية ، كذلك التي توجد في النسيج الإنشائي الأولي في قمة الساق أو الجذر ، وتظل بعض الخلايا الناتجة عن الانقسام إنشائية ، أي تعود إلى الانقسام بدورها ، أما بقية الخلايا فتتحول بالتدريج إلى خلايا بالغة تشكل لتلائم النسيج الذي ستكون جزءاً منه ، أي أن هذه المرحلة تتميز بزيادة عدد الخلايا وكمية البروتوبلازم . ويتطلب ذلك قدرأ كبيراً من المواد الغذائية تصل إلى الأنسجة الإنشائية من أعضاء التمثيل كما ذكرنا في الباب السابق .

(ثانياً) مرحلة الزيادة في حجم الخلية : يزداد حجم الخلايا في هذه المرحلة

نتيجة متصاص الماء ، وتضطر الزيادة بعد تكوين الفجرات العصارية ، إذ تعمل قوة الامتصاص الأزموزية على امتصاص قدر كبير من الماء بسبب تمدد الخلية. فإذا كان الجدار الخلوى على درجة كافية من اللدونة (Plasticity) فإن هذا التمدد يصبح ثابتاً ، ومن ثم تستطيل الخلية استطالة حقيقية .

وينتج عن تمدد الجدار تناقص سمكه تدريجياً ، مما يؤدى إلى ترسيب مواد جدارية جديدة . وفى هذا الطور من أطوار النمو يزداد حجم الفجوة العصارية وتصبح جزءاً ثابتاً من الخلية ويبدو البروتوبلازم كطبقة رقيقة بين الجدار الخلوى والفجوة . وعندئذ تصبح هذه الخلايا البالغة ذات الحجم الكبير متميزة بوضوح عن الخلايا الإنشائية الصغيرة المملئة بالبروتوبلازم ويكون التمييز أكثر وضوحاً إذا ظلت كمية البروتوبلازم ثابتة كما كانت فى الخلية قبل بلوغها ، إلا أن الزيادة فى الحجم يصحبها عادة بناء كمية جديدة من البروتوبلازم .

(ثالثاً) مرحلة التمييز الخلوى : تشمل هذه المرحلة - التى تبدأ بعد نمو الخلية فى الحجم - على تغيرات كثيرة مختلفة تشريحية وفسولوجية . وتتناول بعض هذه التغيرات حجم الخلايا وشكلها ، كما يتصل بعضها بطبيعة الجدار الثانوية ومدى تكوينها ، بينما تنصب تغيرات أخرى على المحتويات البروتوبلازمية للخلايا . ويتميز نتيجة لذلك عدد كبير من الأنواع المختلفة من الخلايا يختص كل نوع منها بوظيفة معينة . والخلايا البارنشيمية هى أقل الأنواع تميزاً ، وتختلف عن الخلايا الإنشائية فى زيادة حجمها ودرجة نمو فجواتها ولا تتكون فيها الجدر الثانوية عادة بل تظل جدرها رقيقة وخاصة تلك التى تكون النخاع والقشرة والأشعة النخاعية . أما الخلايا التى تتحول إلى عناصر وعائية - كالأنابيب الغربالية والأوعية الخشبية والألياف - فتعرض لتغيرات عديدة ، إذ تزداد كثيراً فى الحجم ، وتتكون فى الأوعية الخشبية والقصيبات جدر ثانوية تتخذ أشكالاً مختلفة منها الحلزونية والمنقر ، وتتميز هذه الجدر الثانوية بترسب مادة اللجنين عليها .

أما التمييز على أساس المحتويات البروتوبلازمية فقد يتضمن انقراض تلك المحتويات تماماً كما هو الحال في الأوعية والقصبية والألياف . وفي أنواع أخرى من الخلايا - كالأنابيب الغربالية - تختفى الأنوية بعد مدة ويستمر السيتوبلازم في القيام بوظيفته ، ومن المعتقد في هذه الحالة أن أنوية الخلايا المرافقة الملاصقة للأنابيب الغربالية تقوم بوظيفة النواة بالنسبة للعناصر الأخيرة أيضاً .

وعندما تصل الأعضاء ذات النمو المحدود - كالأوراق - إلى حالة البلوغ الدائم تكون كل خلية من خلاياها قد مرت خلال هذه المراحل الثلاث للنمو . ولما كانت الزيادة في حجم العضو بأكمله هي عبارة عن مجموع الزيادات في حجم خلاياه منفردة فإنه من المتوقع أن يظهر العضو نفس التتابع في مراحل النمو التي تمر بها الخلايا المكونة له . ففي المراحل الأولى لنمو الورقة مثلاً - وهي مازالت في البرعم - تكون معظم خلاياها إنشائية مستمرة في الانقسام ، ويعقب هذه المرحلة المبكرة مرحلة الزيادة في الحجم وتفلطح الورقة ثم تأتي بعد ذلك مرحلة التميز الداخلي .

أما الأعضاء ذات النمو غير المحدود - كالسيقان والجذور - فتبقى فيها عند القمة منطقة إنشائية ، ولكن الخلايا التي تنتج منها بالانقسام تمر وهي تبعد عن القمة في مرحلة الزيادة في الحجم والتميز الداخلي ثم يقف نموها بعد ذلك . وفي أثناء حدوث هذه التغيرات تستمر الخلايا الإنشائية عند القمة في انقسامها منتجة إلى الداخل خلايا أخرى تمر بالتدرج إلى الحالة المستديمة . وعلى ذلك إذا مررنا من القمة تجاه الأجزاء المسنة للعضو فإن أحدث الأجزاء تكون في المرحلة الأولى للنمو ، والأجزاء التي تليها تكون أساساً في طور الزيادة في الحجم ، أما أكبر الأجزاء سناً فتكون قد توقفت عن الازدياد في الحجم وتم تميزها الداخلي .

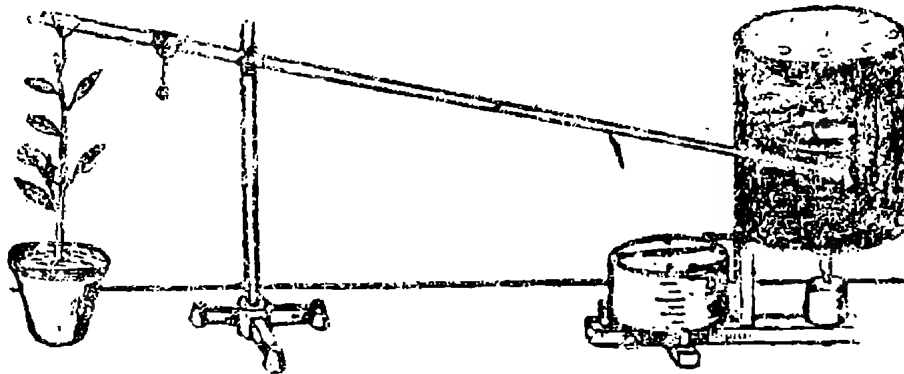
طرق قياس النمو :

تستخدم لقياس النمو طرق كثيرة يعتمد اختيار إحداها على نوع العضو النامي وطبيعة نموه ، ففي الجذور والسيقان يقدر النمو عادة بالزيادة في الطول ،

وفي الأوراق يقاس بالزيادة في المساحة . وقد تستخدم في قياس النمو طريقة تقدير الزيادة في الوزن الرطب أو الوزن الجاف للنبات كله أو لأحد أعضائه .

طريقة تقدير الزيادة في الطول : يمكن تتبع الاستطالة في الساق بصورة مستمرة بوساطة جهاز تسجيل ذاتي يعرف بمقياس النمو أو الأوكسانومتر (Auxanometer) ويتركب كما في شكل (٣٨٠) من رافعة خشبية خفيفة يوصل أحد طرفيها بقمة الساق النامية بواسطة خيط حريري ، ويلامس الطرف الآخر أسطوانة مغطاة بطبقة من السناج ، يرسم مؤشره عليها مجموعة من الخطوط الأفقية ، يمثل كل منها نهاية فترة زمنية . ويكون مركز الثقل الذي تتحرك عليه الرافعة قريباً جداً من النبات بحيث إذا استطالت القمة يهبط الطرف المسجل بدرجة أكبر . ويثبت ثقل صغير بواسطة ركاب بين مركز الثقل والنبات لكي يتضاءل تأثير الرافعة على النبات إلى أقل حد ممكن . وتتحرك الأسطوانة المغطاة بالسناج حركة دائرية حول قائم رأسى من الحديد على فترات منتظمة بواسطة جهاز ساعة . وعند كل حركة يسجل المؤشر خطأ صغيراً ، وفي نهاية التجربة تكون المسافة بين العلامات التي خطها المؤشر على الأسطوانة ممثلة للزيادة في الطول مكبرة بمقدار النسبة بين ذراع الرافعة الطويل وذراعها القصير ، وعلى ذلك فيمكن حساب الزيادة الحقيقية في الطول من المعادلة :

(شكل ٣٨٠)



الـاوكسانومتر المسجل ، وتـرى الـزيـادة في طـول النـبات
مكبرة على الأسطوانة المغطاة بالسناج .

الزيادة الحقيقية فى الطول « النمو » =

طول الذراع القصيرة للرافعة
الزيادة المكبرة (المسافة على الأسطوانة) × طول الذراع الطويلة للرافعة

طريقة تقدير الزيادة فى المساحة : تستعمل هذه الطريقة فى حالة الأعضاء المنبسطة كالأوراق ، حيث تستخدم آلة تعرف بمقياس السطوح أو البلانيومتر (Planimeter) ، ويتركب من ذراعين تعرف إحداهما بذراع القياس وتنتهى بسن مدبب ، وتعرف الأخرى بذراع الثقل (شكل ٣٥٠) . ولقياس مساحة الورقة يبسط النصل على ورقة بيضاء وتحدد حافته ، ثم يثبت الثقل خارج النصل ، وتضبط ورنية الجهاز على صفر التدريج ، ويمرر السن الذى فى طرف ذراع القياس على حافة الورقة فى اتجاه عقرب الساعة حتى يعود إلى نقطة البدء ، عندئذ تكون القراءة التى تبيها الورنية مساوية لمساحة الورقة . فإذا قيست مساحة الورقة بعد فترات زمنية محددة فإنه يمكن حساب الزيادة فى مساحة الورقة نتيجة لنموها .

طريقة تقدير الزيادة فى الوزن الجاف : يقاس النمو أساساً بمتبع الزيادة فى الوزن الجاف فى زمن معين . ولإجراء ذلك بالنسبة لنبات ما يؤخذ عدده من مجموعة متجانسة ويجفف فى فرن عند درجة ١٠٥° م ، وعند ثبوت الوزن يقدر الوزن الجاف ، ومنه يمكن معرفة الوزن الجاف للنبات الواحد . أمابقية المجموعة فتترك لتنمو فى الظروف التجريبية المرغوبة ، وتؤخذ منها بين حين وآخر عينات مماثلة ويقدر وزنها الجاف ومنه تحسب الزيادة فى الوزن الجاف للنبات الواحد . ومن الواضح أن نجاح هذه الطريقة يعتمد على اختيار مجموعة متجانسة من النباتات عند كل قياس . وتعد هذه الطريقة أكثر الطرق استعمالاً فى قياس النمو .

فترة النمو الكبرى

إذا تتبعنا نمو نبات كامل - أو أى عضو نباتى - اتضح أن معدل النمو لا يكون منتظماً طول دورة الحياة ، بل يبدأ هذا المعدل بطيئاً ، ثم يأخذ فى التزايد سريعاً حتى يصل إلى حد أقصى ، يبدأ بعده فى التناقص حتى يقترب

من الصفر وعندئذ يكون النمو قد توقف تماماً . وقد أطلق ساكس (Sachs) على الفترة من دورة الحياة التي تتم فيها هذه المراحل الثلاث من النمو مجتمعة إسم « فترة النمو الكبرى » (Grand period of growth) . وقد وجد ساكس عند دراسته للنمو في منطقة من الجذر الابتدائي لنبات الفول - طولها عند بداية التجربة مليمتر واحد وتقع خلف القمة النامية - أن هذه الفترة تمتد إلى سبعة أيام ، ويوضع الجدول (٣٠) مدى النمو في الأيام المتتالية .

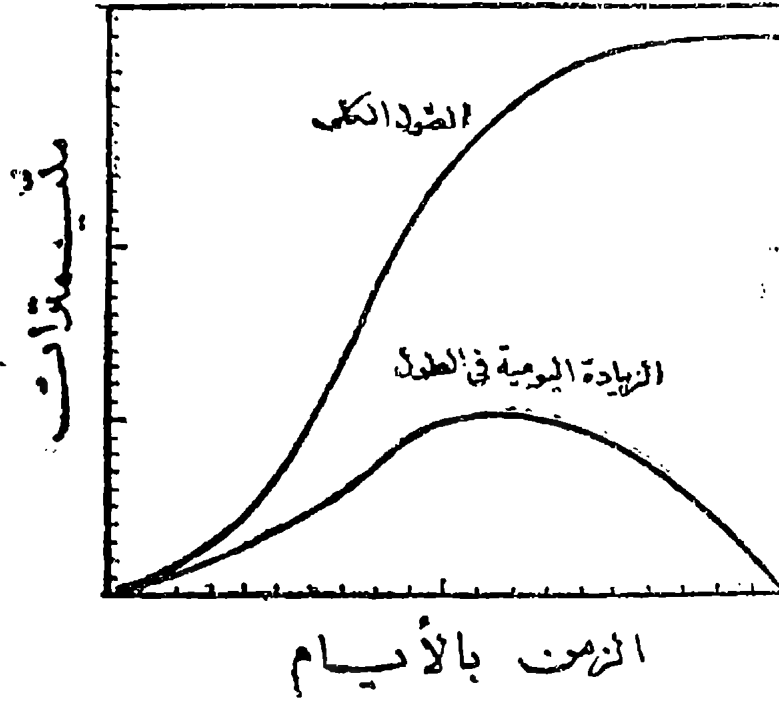
جدول (٣٠)

نمو منطقة من الجذر الابتدائي لنبات الفول ، طولها عند بدء التجربة مليمتر واحد

اليوم	الطول الكلى (بالمليمتر)	الزيادة اليومية في الطول (بالمليمترات)
ساعة الابتداء	١	—
اليوم الأول	٢,٨	١,٨
اليوم الثاني	٦,٥	٣,٧
اليوم الثالث	٢٤,٠	١٧,٥
اليوم الرابع	٤٠,٥	١٦,٥
اليوم الخامس	٥٧,٥	١٧,٠
اليوم السادس	٧٢	١٤,٥
اليوم السابع	٧٩	٧
اليوم الثامن	٧٩	صفر

فإذا عبر عن هذه النتائج بيانياً أمكن الحصول على منحنين متميزين (شكل ٣٨١) أحدهما - وهو منحنى الزيادات اليومية في النمو - تظهر فيه نهاية قصوى ويعرف بمنحنى معدل النمو (Growth rate curve) ، أما المنحنى الآخر الذي يمثل النمو الكلى - ويعرف بمنحنى النمو (Growth curve) - فيأخذ شكل حرف (S) (Sigmoid curve) . وهو يبدأ في الصعود ببطء ثم بسرعة وأخيراً يقترب من الاتجاه الأفقى .

(شكل ٣٨١)



منحنيات النمو في الطول لمعدو نباتي خلال عدة أيام. ويثل المنحنى العلوى الطول الكلى للمعدو في الأيام المتتامة ، أما المنحنى السفلى فيمثل الزيادة اليومية للمعدو .

ومنحنى النمو للعضو النباتي هو عبارة عن مجموع منحنيات النمو للخلايا المكونة له ، وذلك لأن كل خلية عند نموها لابد أن تمر - كما سبق أن ذكرنا - في هذه المراحل الثلاث ، أى أنها تمر في فترة نمو كبرى . وبالمثل فإن منحنى النمو للنبات الكامل هو محصلة منحنيات النمو لأعضائه المختلفة . ويتحكم التركيب الوراثي لأى نوع من النباتات في شكل منحنى النمو ، وقد تؤثر العوامل الخارجية في معدل النمو ، ومن ثم تؤثر في طول الزمن اللازم لتمام فترة النمو الكبرى ، إلا أن منحنى النمو يظل على الرغم من ذلك محتفظاً دائماً بشكله المميز (S) .

العوامل التي تؤثر في النمو :

لما كان النمو يمثل في حقيقته محصلة عمليات التحول الغذائى وغيرها من العمليات المرتبطة بها ، فإن تأثيره بشئى العوامل ما هو إلا محصلة لتأثير تلك

العوامل في العمليات السابقة . فارتفاع درجة الحرارة عن الدرجة الصغرى - أى الدرجة التى لا ينمو النبات دونها - يؤثر في النمو بنفس الطريقة التى يؤثر بها في البناء الضوئى والتنفس ، فيزيد معدل النمو عند بدء ارتفاعها (ويكون المعامل الحرارى أعلى عادة من ٢) ، ولكنه سرعان ما ينتج عن استمرار ارتفاع درجة الحرارة تأثيرات ضارة تعطل النمو . وعند درجة الحرارة القصوى وفوقها يمتف النمو تماماً .

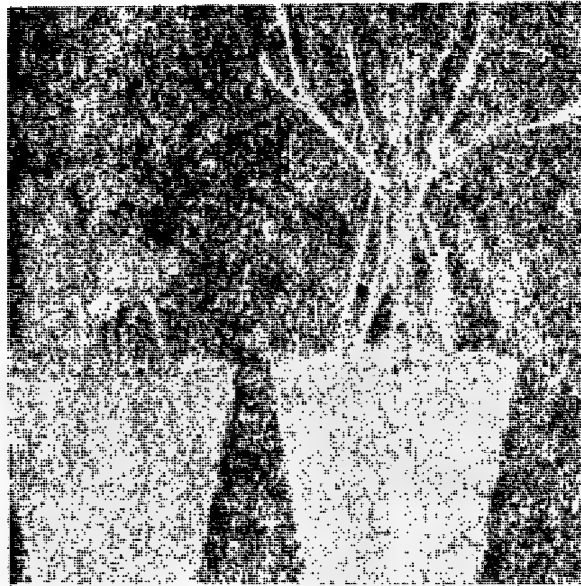
ودرجات الحرارة المثلى للنمو الحضرى تختلف باختلاف النبات وبيئته . فتبلغ في نباتات المناطق القطبية حوالى ١٠°م . بينما تتراوح من ٢٥°م - ٣٠°م بالنسبة لنباتات المناطق المعتدلة ، وتزيد عن ذلك في نباتات المناطق الاستوائية وتحت الاستوائية ، فتبلغ في نبات النخلة مثلاً من ٣٠°م - ٣٥°م . كذلك تختلف الدرجة المثلى للنمو باختلاف مراحل تطور النبات ، ففي نبات الطماطم مثلاً تصل هذه الدرجة إلى ٣٠°م في مرحلة البادرة ثم تنقص تدريجياً إلى ١٣ - ١٨°م (على حسب النوع) ببلوغ النبات مرحلة النضوج ، وتطلب مرحلتا الإزهار والإثمار درجات حرارة تختلف عن تلك اللازمة للنمو الحضرى . والتغيرات اليومية في درجات الحرارة ذات تأثير هام في نمو النبات ، فقد أوضح فنت (Went) - عام ١٩٤٤ - أن نمو نباتات الطماطم يكون أسرع تحت ظروف التغيرات اليومية منه في درجات الحرارة الثابتة . وقد أطلق على هذه الظاهرة « التوقيت الحرارى » (Thermoperiodicity) .

والضوء ضرورى لنمو النباتات ذاتية التغذية ، إذا أنه عامل أساسى في البناء الضوئى . فلكى يبقى النبات حياً يجب أن تكون شدة الإضاءة كافية لكى يوازى البناء الضوئى الذى يحدث أثناء النهار ماستهلكه عملية التنفس طوال الأربع وعشرين ساعة . وبدىهى أن شدة الإضاءة الصغرى اللازمة لاستمرار النبات حياً يجب أن تزيد عن نقطة التوازن التى يتساوى عندها البناء الضوئى والتنفس أثناء النهار (راجع باب البناء الضوئى) . وتختلف شدة الإضاءة الصغرى في النباتات المختلفة . فعلى حين تبلغ في نباتات الظل ٢ - ٣ شمعة قديمة

فإنها تبلغ في نباتات الشمس ٤٠٠ - ٥٠٠ شمعة قديمة ، وطبيعي أن درجات الإضاءة الصغرى التي تكفى لاحتفاظ النبات بحياته لا تكفى لنموه .

وبالإضافة إلى ذلك يبدو أن للضوء تأثيراً مباشراً على مراحل النمو المختلفة ويمكن دراسة ذلك بإنماء النباتات بعيدة عن الضوء على أن تزود بالمواد العضوية المختلفة ، وفي حالة البذور يكون نموها على حساب ما بها من غذاء مدخر . فإذا نبتت البادرات بعيدة عن الضوء فإنها تبدو بيضاء أو صفراء لخالوها من اليخضور وتكون سيقانها طويلة مغزلية الشكل تحمل أوراقاً صغيرة متهاكة (شكل ٣٨٢) ، ويعرف هذا النمو المميز للنباتات في غياب الضوء « بالشحوب الظلامي » (Etiolation). ويعزى هذا النوع من النمو إلى زيادة طول الخلايا وكثرة انقساماتها عما يحدث في النباتات المماثلة التي تنمو في الضوء . ومعنى هذا أن الضوء يعطل هذا النمو المتزايد ، وقد يؤدي تعريض بعض النباتات لإضاءة شديدة إلى تقزمها . وظاهرة الشحوب الظلامي يمكن التغلب عليها بتعرض النباتات لشدة إضاءة ضئيلة جداً ، وعليه فإن الضوء اللازم لمنع حدوث هذه التغيرات الشكلية يقل كثيراً عن شدة الإضاءة الضرورية لإتمام البناء الضوئي بدرجة ملموسة .

(شكل ٣٨٢)



بادرات بازلاء (*Pisum sativum*) نامية في الضوء (إلى اليسار) وفي الظلام (إلى اليمين)

أما بالنسبة لتأثير نوع الضوء في النمو فقد وجد أن النمو الكلي للنبات يكون في الطيف الكامل للضوء المنظور أفضل منه في أى منطقة من مناطق هذا الطيف . ويقل النمو كثيراً في منطقة الضوء الأخضر عنه في كل من منطقتي الضوء البنفسجى الأزرق والأحمر البرتقالى . وتعزى ضالة النمو في الضوء الأخضر إلى تمدد الأوراق المحدود وإلى انخفاض كفاءة البناء الضوئى في هذه المنطقة عنه في أى منطقة أخرى من مناطق الطيف .

واستجابة النمو لمنطقة معينة من مناطق الطيف تختلف من عضو لآخر في النبات . فاستطالة السيقان تكون أكبر ما يمكن في الضوء البنفسجى الأزرق ثم تقل في الضوء الأخضر ، والضوء الأحمر البرتقالى ، والطيف الكامل للضوء المنظور على التوالى . أما استجابة نمو الورقة لمناطق الضوء المختلفة فتختلف عن استجابة السيقان ، فانفراد نصل الأوراق يقل كثيراً في الضوء الأخضر عنه في الضوء الأحمر البرتقالى أو البنفسجى الأزرق ، ويصل انفراد الورقة أقصاه في الطيف الكامل للضوء المنظور .

ويعتبر وجود الأكسجين من العوامل الأساسية لنمو الكائنات الهوائية ، وترجع أهميته إلى الدور الذى يقوم به في إطلاق الطاقة أثناء عملية التنفس ، وقد سبق أن ذكرنا أن جزءاً من هذه الطاقة يستخدم في بناء المركبات المعقدة التى يتطلبها النمو .

ولما كان النمو يعتمد على امتلاء الخلايا بالماء ، فإن نقص الماء يؤدى دون شك إلى تعطيل النمو أو توقفه تماماً ، وعلى النقيض من ذلك قد تؤدى زيادة نسبة الماء إلى نوع غير عادى من النمو ، ففى جو مشبع مثلاً يكون نمو الأوراق ضعيفاً وتتاخر مرحلة تميز الأنسجة ، ويعزى ذلك - دون شك - إلى تمدد الجدر الخلوية بدرجة كبيرة نتيجة لارتفاع ضغط الامتلاء ارتفاعاً غير عادى . ويحتاج النبات النامى إلى قدر كاف من العناصر المعدنية الأساسية ، لكل منها دور معين فى حياة النبات ، وقد سبقت الإشارة إلى ذلك فى الباب السابع والثلاثين .

وبالإضافة إلى ما سبق من عوامل يتأثر النمو إلى حد كبير بمركبات عضوية معينة مثل الإنزيمات والفيتامينات والهرمونات التي توجد في الخلايا بكميات ضئيلة جداً ، وسنتناول بالتفصيل طبيعة ووظيفة هذه المواد الأخيرة .

هرمونات النمو

استعمل لفظ « هرمون » (Hormone) في بادئ الأمر للدلالة على مواد عضوية معينة ، تتكون في عضو من جسم الحيوان وتنتقل مع الدم إلى عضو آخر حيث تسبب — عندما توجد بكميات ضئيلة — تأثيرات فسيولوجية معينة . فمثلاً ، الأدرينالين (Adrenaline) يفرز في جسم الحيوان بواسطة الغدة فوق الكلوية ولكنه يؤثر على القلب والجهاز الوعائي . وعلى ذلك فقد أصبح من خواص الهرمون أنه ينتقل من المكان الذي يتكون فيه إلى مكان آخر من جسم الكائن الحي . وقد استعمل النباتيون نفس اللفظ للدلالة على مواد ذات تأثير مماثل اكتشف وجودها في النبات .

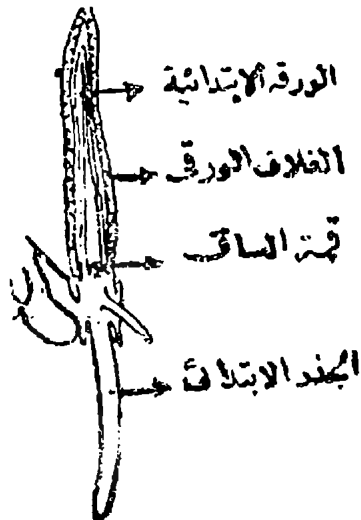
وقد تقدمت بعد ذلك دراسة الهرمونات ، وتمكن بعض الباحثين من استخلاص وتحديد الطبيعة الكيميائية لثلاث مجموعات منها ، هي «الأوكسينات»

(Anxins) ، والجبريلينات (Gibberellins) (شكل ٣٨٣)

والسيتوكينينات (Cytokinins) ويطلق

عليها الثلاثة أحياناً منظمات النمو (Growth

regulators) .



اكتشاف هرمونات النمو :

تعتبر البحوث التي قام بها بويسن

ينسن (Boysen jensen) — عام ١٩١٠ —

على الانحناء الضوئي أول دليل مباشر

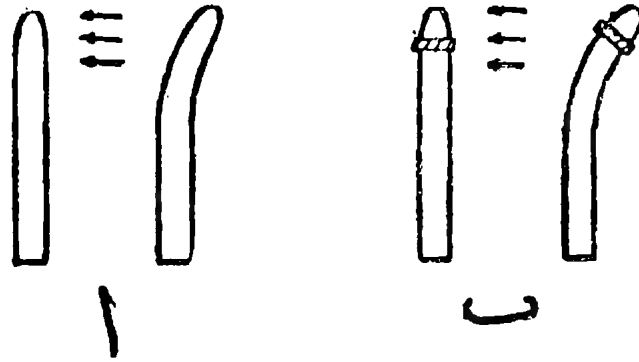
على وجود الهرمونات النباتية . فقد

وجد أن الغلاف الورقي (Coleoptile)

الغلاف الورقي الشوفاني ، وهو مجوف أسطوانى الشكل تقريباً ، يغلف قمة الساق والأوراق الصغيرة .

لنبات الشوفان (*Avena sativa*) - شكل ٣٨٣ - يفقد قدرته على الانحناء ناحية الضوء إذا نزع قمته (١ - ٢ مم من القمة) . ولكنه يستعيد هذه القدرة عند إعادة القمة المنزوعة إلى مكانها مباشرة أو عند تثبيتها فيه بالجلياتين (شكل ٣٨٤) أما إذا فصلت القمة عن جذع الغلاف الورقي بصفيحة من الميكافان فإنه لن يكون هناك أى انحناء ، لأن الباعث عليه توقف عن المرور .

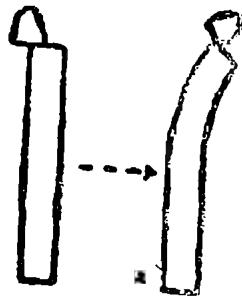
(شكل ٣٨٤)



(١) الضوء يسقط من جانب واحد على قمة الغلاف الورقي لأحد النجيليات ، فيسبب انحناءه تجاه مصدر الضوء (ب) جزء من تجربة بويسن التي نزع فيها قمة الغلاف الورقي ثم أعادها في وجود قطعة بديلة من الجيلاتين ، فلاحظ أن الانحناء الضوئي يحدث كما هو متوقع .

وفي عام ١٩١٨ ، أيد بال (Paal) ما وصل إليه بويسن بنسب ،

(شكل ٣٨٥)



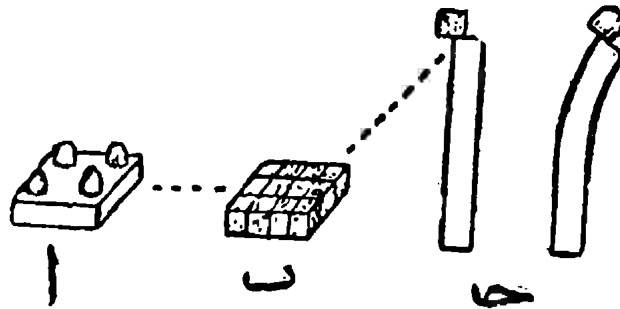
تجربة بال : إذا وضعت قمة الغلاف الورقي المنفصلة وضعا لامركزيا فإنها تسبب انحناء سالباً .

وأضاف إلى ذلك أنه عند إعادة قمة الغلاف الورقي المنزوعة في وضع غير مركزي (شكل ٣٨٥) زاد النمو في الجانب الذي وضعت فوقه القمة ونتج عن ذلك ما يعرف بالانحناء السالب (Negative curvature) للغلاف الورقي . وقد أدت هذه النتائج وغيرها إلى افتراض وجود مادة النمو في قمة الغلاف الورقي تهبط منها في الظروف العادية على كل الجوانب فتسبب نمواً

منتظماً في منطقة النمو ، أما إذا تأثر هبوط هذه المادة بطريقة ما - كالإضاءة من جانب واحد أو إعادة القمة المنزوعة إلى وضع غير مركزي - فإن النمو يكون غير منتظم ومن ثم يحدث الانحناء .

وقد أجرى فنت (Went) - عام ١٩٢٨ - عدداً من التجارب أوضح بواسطتها أنه إذا وضع عدد من قمم الأغلفة الورقية لبادرات الشوفان على طبقة رقيقة من الآجار لساعات قليلة فإن مادة النمو الموجودة بالقمم تنتشر إلى طبقة الآجار . والدليل على ذلك أنه إذا قطعت الأخيرة قطعاً متساوية فإن كل قطعة تصبح لها نفس القدرة التي كانت للقمة على تنشيط النمو . فتستطيع إذا وضعت وضعاً مركزياً على الغلاف المنزوعة قمته أن تعيد النمو إلى الغلاف الورقي ، أما إذا كان وضعها غير مركزي فإنها تسبب انحناء سالباً (شكل ٣٨٦) وقد وجد فنت أن هذا الانحناء يتناسب تناسباً طردياً إلى حد ما مع تركيز الهرمون في قطعة الآجار ، وقد استخدمت هذه العلاقة في التقدير الكمي لمواد النمو في النبات .

(شكل ٣٨٦)



بجربة فنت : تمثل مادة النمو من قمم الأغلفة الورقية للآجار فإذا وضعت قطعة من هذا الإجار وضعتاً لامركزياً على الطرف العلوي لغلاف ورقة نمت قمته فإنها تسبب انحناءً يناسب - و حدود معينة - تركيز مادة النمو الآجار .

وفي عام ١٩٣٠ أضاف دولك (Dolk) إلى ما سبق برهاناً آخر على أهمية الهرمونات للنمو . فتمد وجد أن الأغلفة الورقية لا تتوقف عن النمو تماماً بعد نزع قممها ولكنها تستمر في النمو بمعدل أبطأ نتيجة لما يتبقى بها من هرمون .

وبعد ساعات قليلة من نزع القمة تتجدد عند سطح القطع « قمة فسيولوجية » (Physiological tip) يتكون فيها الهرمون ويستعيد النمو معـدله الأصلي ، فإذا نزعـت تلك القمة بعد ساعتين من نزع القمة الأولى فإن سرعة النمو تنخفض عملياً إلى الصفر ولكن إذا وضعت بعد ذلك قطعة من الآجار تحتوى على الهرمون فإن النمو يستأنف فوراً .

وقد أدت هذه البحوث المتتابعة وغيرها إلى الاعتقاد بوجود مواد خاصة تنشط النمو ، تتكون في قمم الأغلفة الورقية للشوفان وغيره من نباتات الفصيلة النجيلية ثم تنتشر إلى مناطق النمو حيث تؤثر في استطالة الخلايا . وقد حصل فنتس على نتائج توضح دور هذه المواد في الانتحاء الضوئي ، كما حدد بعض خواصها الطبيعية .

الأوكسينات

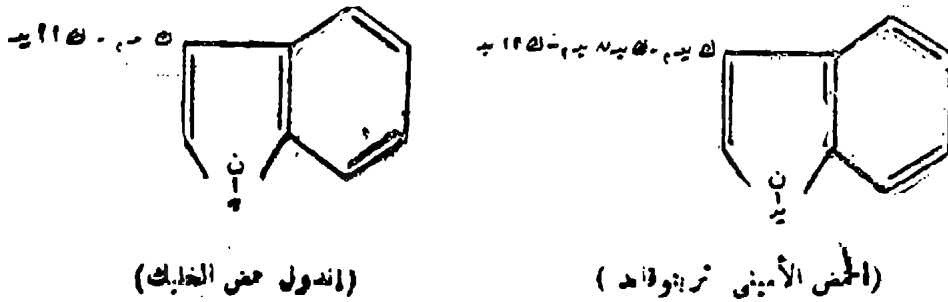
الخواص الكيميائية :

تمكن العالمان الكيميائيان كوجل وهاجن سميت (Kögl and Haagen Smit) - ١٩٣١ / ١٩٣٤ - من عزل ثلاثة مركبات ذات قدرة فائقة على تنشيط النمو ، أطلقا عليها الأسماء « أوكسين أ » (Auxin a) و « أوكسين ب » (Auxin b) و « هتيروأوكسين » (Heteroauxin) وقد تم فصل المادة الأولى من بول الإنسان وتم فصل المادة الثانية من الشعير وزيت جنين الذرة ، أما الهتيروأوكسين فقد فصل من البول ومن فطره الخميرة .

غير أن البحوث الأخيرة دلت على عدم وجود الأوكسينين أ ، ب ، فنذا اكتشافهما لم يتمكن أحد من فصلهما ، وعلى العكس تمكن الكثير من الباحثين من فصل الهتيروأوكسين من كثير من الأنسجة النباتية بما في ذلك الأغلفة الورقية للشوفان والكائنات الدقيقة كالبكتيريا والخميرة والفطريات الخيطية ، ولذا أصبح من المعتقد أنه هو الأوكسين الطبيعي في النباتات .

والهتيروأوكسين حمض يحتوى على النيتروجين (ك.ك. ١٠٠٤ ن) .
وقد تبين من تركيبه الكيميائى أنه المادة المعروفة « بيتا إندول حمض الخليك »
(B - indole acetic acid) وهو سهل التحضير فى المعمل ، إذ يتكون من
الحمض الأميى « تربتوفان » بأكسدته ونزع مجموعة النوشادر منه ، وهى
عملية يطلق عليها التأكسد اللاأمنيى (Oxidative deamination) . ويتكون
الهتيروأوكسين فى الخلايا النباتية من هذا الحمض الأميى بمساعدة إنزيم خاص
(إردمان وشيور Erdmann and Schiewer - عام ١٩٧١ : وغيرهما) .

ويوضح التركيب الكيميائى لكلا المادتين مدى العلاقة بينهما .



ويستخدم فى تقدير الأوكسين طرق بيولوجية ، إذ أنه لا توجد اختبارات
كيميائية دقيقة تنى بالغرض المطلوب . وأكثر الطرق المستخدمة دقة هى
طريقة الاختبار الشوفانى (Avena test) التى اقترحها فنت عام ١٩٢٨ ،
وأساسها إيجاد علاقة بين درجة انحناء الغلاف الورقى الشوفانى وكمية مادة النمو
التي تحتوىها قطعة من الآجار توضع على طرف الغلاف الورقى بعد نزع
قمته .

توزيع الأوكسين وتكوينه فى النبات : الأوكسين واسع الانتشار فى
النبات فبذ اكتشاف وجوده فى قمم الأغلفة الورقية للنجليات والبحوث
مستمرة على أنواع مختلفة من النباتات الدنيئة ، وقد أمكن إثبات وجود
الأوكسين فيها جميعاً ، حتى ليتمكن القول بأنه أحد المكونات الثابتة
فى النباتات . ومن الجدير بالذكر أنه لا يوجد تخصص فى عمل هذه المواد ،
بمعنى أن نفس التفاعل يحدث فى النباتات موضع الاختبار بغض النظر عن

مصدر الأوكسين ، والدليل على ذلك ما لاحظته نيلسين (Neilson) من أن مادة النمو التي استخلصها من فطره الرايزوبس (Rhizopus) تستطيع زيادة النمو في الأغلفة الورقية للشوفان .

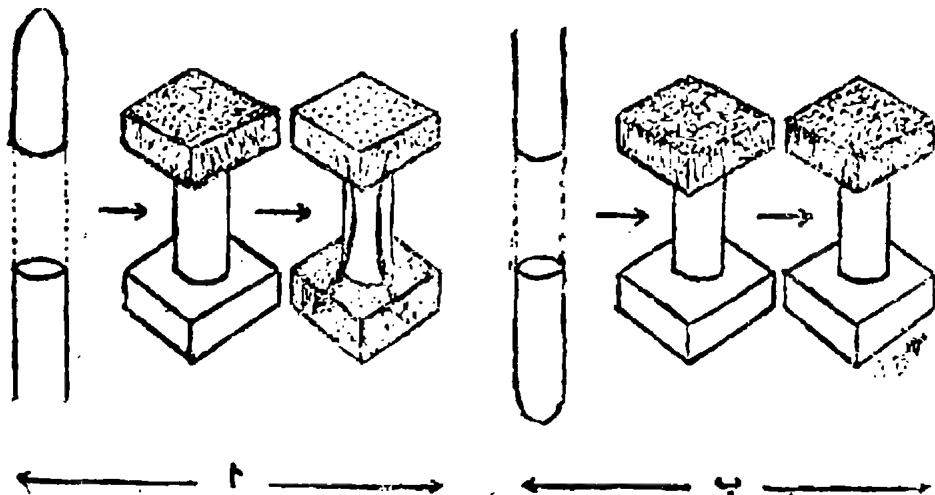
والمراكز الرئيسية لبناء الأوكسين في النباتات الراقية هي الأنسجة الإنشائية. القمية في الأعضاء الهوائية مثل البراعم الطرفية والأوراق الصغيرة ، وبالإضافة إلى ذلك يتكون كميات صغيرة من الأوكسين في القمة النامية للجذر ، ولو أن معظم ما يوجد منه في الجذور يأتي إليها من الأعضاء الهوائية للنبات . والأوكسين الذي يتم بناؤه في أحد الأنسجة ينتقل عادة إلى غيره من أنسجة النبات ، الأمر الذي يؤدي إلى أن يتخذ توزيع الأوكسين نظاماً خاصاً ، ففي كل من قمتي الساق والجذر يكون تركيزه عالياً ثم يتضاءل التركيز كلما بعدت المسافة عن القمتين . وقد وجد ثيمان (Thimann) أنه على الرغم من وجود الأوكسين في كل أجزاء بادرة الشوفان النامية إلا أن تركيزه النسبي ينخفض من ٠,٦٩ في قمة الغلاف الورقي إلى ٠,١٩ عند قاعدته ثم يرتفع ثانية إلى ٠,٤٣ في قمة الجذر .

وفي كثير من البذور الكامنة تكون كمية الأوكسين ضئيلة جداً ، ولكنها تزداد بسرعة أثناء الإنبات. وتفسير ذلك أن معظم الأوكسين في البذور غير المستنبطة يكون مرتبطاً بطريقة ما تجعله غير فعال ، ولكنه يتحول إلى صورته النشطة أثناء الإنبات . ويحدث هذا التحول في الضوء أو الظلام ، والمعتقد أن أصل الأوكسين (Auxin Precursor) ينتقل من أنسجة التخزين إلى المناطق القمية حيث يتحرر الأوكسين ، ومن تلك الأماكن ينتقل إلى مناطق النمو في الساق والجذر حيث يسبب تنشيط النمو في أعضاء المجموع الخضري وتثبيطه في الجذر .

انتقال الأوكسين : لما كان الأوكسين المتكون في الأنسجة القمية يؤثر أساساً في غيرها من المناطق فقد أصبح انتقال الأوكسين من الأهمية بحيث استأثر بكثير من الدراسة . ففي الظروف العادية يتحرك الأوكسين في الأنسجة الحية في اتجاه قطبي (Polar) دائماً ، أي في اتجاه واحد من القمة المورفولوجية

إلى القاعدة المورفولوجية وليس العكس . والأدلة على تلك الحركة القطبية كثيرة . ففي عام ١٩٢٨ أوضح فنت (Went) أنه إذا ثبتت أسطوانة من الغلاف الورقي - في وضع قائم - على قطعة من الآجار ، ثم وضعت قطعة أخرى من الآجار تحتوى على الأوكسين على الطرف العلوى - حسب الوضع المورفولوجى للأسطوانة - فإن الأوكسين ينتقل خلالها سريعاً ويتجمع في قطعة الآجار السفلى . أما إذا قلبت أسطوانة الغلاف الورقي بحيث توضع قطعة الآجار المحتوية على الأوكسين فوق طرفها القاعدى - حسب الوضع المورفولوجى - فإن الأوكسين لا ينتقل خلالها مطلقاً ، ويوضح شكل (٣٨٧) ملخصاً لهذه التجربة . وقد أجرى باير (Baeyer) - عام ١٩٢٧ - تجربة مماثلة لفصل قمة الغلاف الورقي ثم أتبعها بفصل جزء آخر أسفل منها مباشرة . وعندما أعاد الأجزاء المنزوعة إلى وضعها الطبيعى ، انتقل الأوكسين كعادته إلى أسفل خلال الجزء المنزوع وسبب انحناء الجزء القاعدى من الغلاف الورقي ناحية الإضاءة الجانبية التى تعرضت لها القمة . وعلى العكس لم ينتقل الأوكسين عندما قلب وضع الأسطوانة التى تفصل قمة الغلاف الورقي عن قاعدته .

(شكل ٣٨٧)



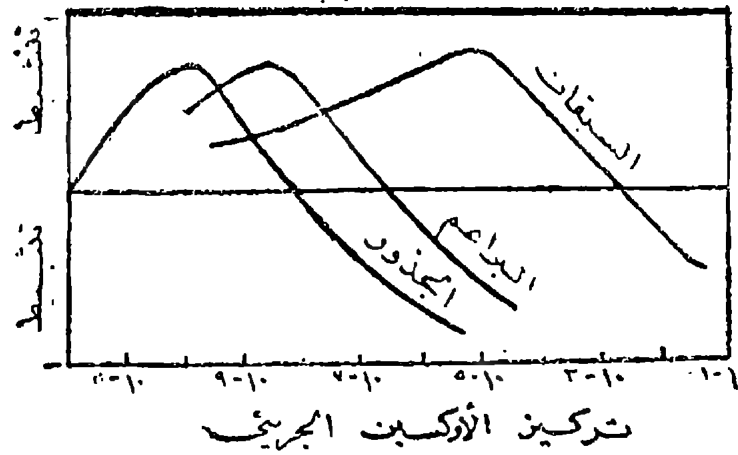
انتقال الأوكسينات : (أ) توضع الإنسال القطبى ، أى من القمة
(إلى القاعدة المورفولوجية . (ب) امتناع الأوكسين عن الانتقال عندما قلب
ضع أسطوانة الغلاف الورقي .

دور الأوكسين في استطالة الخلايا : يقوم الأوكسين بدور في استطالة خلايا كثيرة من الأعضاء النباتية مشابه للدور الذي سبقت الإشارة إليه بالنسبة لأغلفة الشوفان الورقية ويمكن القول على وجه الإجمال إن استطالة الخلايا لا تحدث إلا في وجود الأوكسين، وأنه كلما زاد تركيز الأوكسين زاد معدل الاستطالة ما لم يحدد العملية عامل آخر . ويختلف مدى التركيز الأمثل لاستطالة الخلايا اختلافاً كبيراً في الأنسجة المختلفة ، وإذا زاد تركيز الأوكسين عن حد معين فإنه عادة يثبط هذه المرحلة من مراحل النمو .

وقد أوضح كولودنى (Cholodny) - عام ١٩٢٦ - أن نزع قمة الجذر في بادرة الذرة أو الترمس يؤدي إلى زيادة معدل الاستطالة ، وإن كانت هذه الزيادة غير كبيرة . فإذا أعيدت القمة الجذرية إلى مكانها فإن معدل الاستطالة يتناقص إذا قورن بمعدلها في الجذور المنزوعة قممها . وبالمثل ينخفض معدل الاستطالة في قمة الجذر إذا وضعت قمة الغلاف الورقي لبادرة الذرة على جذر نفس النبات الذي نزعت قمته . تدل هذه النتائج على أن تركيز الأوكسين الذي تنتج عنه زيادة الاستطالة في الأغلفة الورقية وغيرها من الأعضاء الهوائية يؤخر استطالة الجذور .

ويمكن تفسير ذلك التأثير المتعارض للأوكسين في استطالة الجذور والأعضاء الهوائية بفرض أن الجذور والبراعم والسيقان تتجاوب كلها مع الأوكسين بطريقة متماثلة (شكل ٣٨٨) ، فيتأخر نموها بتركيزات الأوكسين العالية نسبياً ويذشط بالتركيزات المنخفضة نسبياً . ولا يلائم استطالة الجذور إلا التركيزات الجذ منخفضة ، إذ أن التركيزات العالية تعطلها تماماً . وتسلك السيقان والأغلفة الورقية مسلكاً مماثلاً . إلا أن المدى الأمثل من التركيزات بالنسبة لاستطالتها يفوق كثيراً نظيره في الجذور ، فعلى حين يبلغ في الجذور ١٠-١٠ جزيئي فإنه في السيقان يصل إلى ١٠-٥٠ جزيئي . ومعنى هذا أن تركيزات الأوكسين التي من شأنها أن تنشط استطالة الساق تؤدي هي بذاتها إلى تثبيط الاستطالة في الجذر . أما البراعم فتحتل مركزاً وسطاً بين السيقان والجذور من حيث تأثير التركيزات الأوكسينية المختلفة على نموها .

(شكل ٣٨٨)



تنشيط النمو وتنشيطه في الاعضاء المختلفة تبعاً لتركيز الأوكسجين
من نيمان ١٩٣٧ .

آلية عمل الأوكسين :

يرى سودنج (Söding) وهين (Heyn) أن فعل الأوكسين في استطالة خلايا الأغلفة الورقية - وما يشابهها من الأنسجة النباتية - يأتي من تأثيرها في الجدار الخلوي الابتدائي . وذلك بزيادة لدونته (Plasticity) أي تمدده غير العكسي ، فقد وجد سودنج أنه إذا عوملت الأغلفة الورقية الكاملة بأنقال صغيرة ، فإنها تستطيع أن تتمدد وتنحني بدرجة أكبر من الأغلفة المنزوعة قممها . على أن انحناء هذه الأغلفة الأخيرة يأخذ في الازدياد بعد ثلاث ساعات وذلك لاستثناف تكوين الأوكسين في القمم الفسيولوجية الجديدة . كذلك أوضح هين أن الأغلفة الورقية التي فصلت قممها وغطيت بقطع من الآجار تستطيع - إذا كانت قطع الآجار تحتوي على الأوكسين - أن تتمدد وتنحني بدرجة أكبر مما لو كانت قطع الآجار خالية من الأوكسين .

وينتج عن التمدد غير العكسي للجدار الخلوي انخفاض ضغطه ، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة قوة الامتصاص الأزموزية فيدخل الماء إلى الخلية ويأخذ حجمها في الازدياد ، وذلك حتى يعود التوازن بين ضغط الجدار والضغط الأزموزي . وينتج مرحلة التمدد في عملية الاستطالة ترسيب مادة جدارية جديدة بطريقة التداخل (Intussusception) .

ويبدو أن للأوكسين دور مزدوج في الجدار الخلوى ، فهو يؤدى إلى تليينه (Softening) ومن ثم إلى زيادة لدونته ، كما يؤدى إلى إضافة مواد جديدة إليه . وهذان التأثيران يعزيان إلى زيادة نشاط الإنزيمات المحللة لبعض مكونات الجدار الخلوى والإنزيمات المكونة لبعض مركباته على التوالى .

دور الأوكسين فى الانتحاءات :

الانتحاء الضوئى : لا يقتصر تأثير الأوكسين فى النبات على تنظيمه للنمو فحسب ، بل يستجيب بوساطته النبات لبعض المؤثرات الخارجية ، ومن أمثلة ذلك تجاوب نمو النبات للضوء الذى يأتى من جانب واحد ، ويطلق على هذا التجاوب « اسم الانتحاء الضوئى » (Phototropism) ، والانتحاء الضوئى موجب فى السيقان والسويقات تحت الفلقية والأغلفة الورقية وغيرها من الأعضاء النباتية التى تتجه ناحية مصدر الضوء أو ناحية الإضاءة الأقوى إذا كانت هناك قوى ضوئية مختلفة تأتى من مختلف الاتجاهات . أما الجذور — فعلى العكس — تنمو بعيداً عن الضوء ، وتعرف الاستجابة فى هذه الحالة بالانتحاء الضوئى السالب .

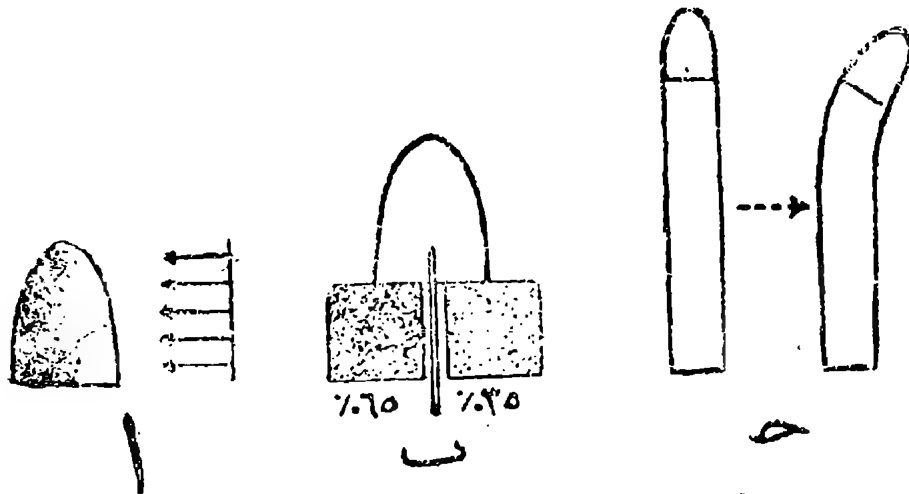
وتعزى الاستجابة الموجبة للضوء فى أغلفة الشوفان الورقية — وكثير من الأنسجة النباتية الأخرى — إلى اختلاف معدل نمو الجانبين المضاء وغير المضاء نتيجة للتوزيع غير المتماثل للأوكسين ، إذ تتجمع فى الجانب غير المضاء للعضو نسبة من الأوكسين تزيد على نسبته فى الجانب المواجه لمصدر الضوء . وعلى ذلك يكون النمو فى الجانب المظلم أسرع منه فى الجانب المضاء . ومن ثم تنحن الأغلفة الورقية أو ما شابهها من الأنسجة ناحية الضوء .

ويبدو أن التوزيع غير المتماثل للأوكسين فى أغلفة الشوفان ينتج أساساً من هجرة مادة النمو من الجانب المضاء للقمة الغلافية إلى جانبها المظلم . ويمكن أن يستمد الدليل على ذلك من تجربة قام بها Went (عام ١٩٢٨ .

فقد عرض غلاف بادرة الشوفان من جانب واحد لإضاءة مناسبة ، ثم فصل القمة ووضعها على قطعتين من الآجار بينهما صفيحة معدنية « شفرة حلاقة » بحيث ينتشر الأوكسين من الجانب المضاء في إحدى القطعتين ، وينتشر من الجانب المظلم في القطعة الأخرى (شكل ٣٨٩ ب) ثم اختبر المحتوى الأوكسيني لقطعة الآجار بطريقة الاختبار الشوفاني (٣٨٩ ج) فدللت الانحرافات الناتجة على أن كمية أكبر من الأوكسين قد انتشرت من النصف المظلم لقمة الغلاف الشوفاني من تلك التي انتشرت من النصف المضاء . كذلك لاحظت أن كمية الأوكسين التي تجمعت في قطعة الآجار من النصف المظلم تفوق كمية المتجمع منه من نصف قمة غير مضاءة . ولذلك فقد خلص من نتائج هذه التجربة إلى أن الإضاءة من جانب واحد تؤدي إلى هجرة بعض الأوكسين من جانب القمة الشوفانية المضاء إلى جانبها المظلم .

ويرى كثير من العلماء أن الضوء قد يؤدي إلى إتلاف بعض الأوكسين ، كذلك يعتقد بعض الباحثين أن ضعف النمو في الجانب المضاء إنما يرجع إلى

(شكل ٣٨٩)



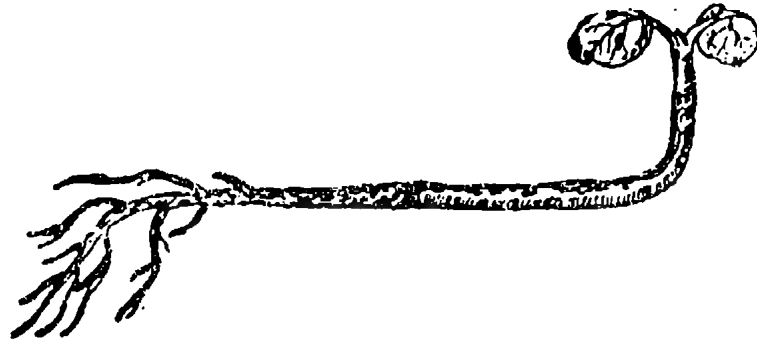
تعريض قمة الغلاف الورقي للضوء الجانبي : (أ) يؤدي إلى عدم تماثل توزيع الأوكسين كما يظهر من انتشاره في الآجار (ب) ، مثل هذه القمة تسبب انحناء جذع غلاف ورقي لم يعرض للضوء كما في (ج) . (١) عن فنت وتيسمار ١٩٣٧ !

نقص حساسية الأنسجة للأوكسين في الضوء عنها في الظلام . إلا أن البحوث الحديثة تميل إلى تأييد نظرية فنت التي سبقت الإشارة إليها (ثمان ١٩٦٤) .

الانتحاء الأرضي :

الانتحاء الأرضي (Geotropism) هو استجابة النبات النامي لمؤثر خارجي هو الجاذبية الأرضية فتنتحي الأعضاء تجاهها أو بعيداً عنها . فإذا وضع نبات نام في وضع أفقي لمدة من الزمن فإن ساقه لا تستمر موازية لسطح الأرض بل تنحني إلى أعلى بعيداً عن اتجاه الجاذبية الأرضية ، ويبدأ هذا التحول في الاتجاه في منطقة الاستطالة التي تلي القمة مباشرة ثم لا يلبث أن يمتد إلى الأجزاء المسنة من الساق . وعلى العكس ، تتمثل استجابة الجذر للجاذبية الأرضية في نموه إلى أسفل في اتجاه مضاد للساق ، وعلى ذلك فالسيقان والسويقات سالبة الانتحاء الأرضي ، أما الجذور فوجبة الانتحاء الأرضي (شكل ٣٩٠)

(شكل ٣٩٠)

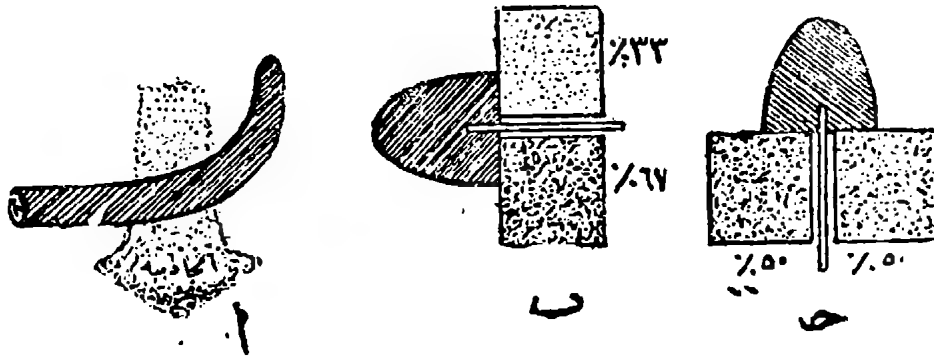


يوضح الانتحاء الأرضي الموجب في الجذر والسالب في الساق

ويؤخذ من نتائج بحوث عدة ، أن الانتحاء الأرضي - مثل الانتحاء الضوئي - يرجع إلى التوزيع غير المتماثل للأوكسين في الأعضاء النباتية ، وقد ساهمت تجارب هرمان دولك (Herman Dolk) - عام ١٩٢٩ - على وجه الخصوص في تبين حقيقة هذا الموضوع . فقد أوضح دولك أن كمية الأوكسين الكلية الموجودة في قمم أغلفة الشوفان الورقية لا تتغير بتغير وضعها

من الاتجاه الرأسى إلى الاتجاه الأفقى ، ولكنه عندما استعمل طريقة الانتشار فى الآجار - التى استعملها فنت عام ١٩٢٨ - ظهر أن توزيع الأوكسين يختلف اختلافاً كبيراً . فى القمم الرأسية انتشرت كميتان متساويتان من الأوكسين من نصفي كل قمة ، أما فى القمم الأفقية فقد انتشرت من النصف السفلى كمية أكبر من الأوكسين (شكل ٣٩١) ، وقد قدر ما تجمع من الأوكسين من النصف السفلى بثلثى الأوكسين الكلى ، وما تجمع من النصف العلوى بالثلث فقط (٦٧ ٪ ، ٣٣ ٪ على التوالى) . وكما فى الانتحاء الضوئى يودى عدم تماثل توزيع الأوكسين إلى أن يكون النمو غير متساو على جانبي الغلاف الشوفانى .

(شكل ٣٩١)



يوضح الشكل أن الانتحاء الأرضى نتيجة لعدم تماثل الإكسين و النبات ، وذلك بتأثير الجاذبية : (ا) إذا وضع الغلاف الورقى فى وضع افقى فإنه ينتخى الى أعلى ، (ب) انتشار الأوكسين من قمة وضعت انقيا الى الآجار ، وبلاحظ أن ٦٧ ٪ من الأوكسين الكلى قد تجمع من الجانب السفلى ، (ح) انتشار الأوكسين من قمة رأسية . وبلاحظ تماثل الكمية المنتشرة من نصفها .

ولما كانت تركيزات الأوكسين التى تساعد الاستطالة فى السيقان والأغلفة الورقية تعطل الاستطالة فى الجذور ، فإن الانتحاء الأرضى الموجب فى الجذور قد ينشأ عن نفس الآلية التى تؤدى إلى الانتحاء الأرضى السالب فى السيقان والأغلفة الورقية . فعند وضع السيقان والجذور فى وضع أفقى ينتقل الأوكسين

بفعل الجاذبية من الجانب العلوى إلى الجانب السفلى . وينشأ عن زيادة تركيز الأوكسين في الجانب السفلى تنشيط النمو في هذا الجانب من الساق وتثبيطه في الجذر ، الأمر الذى يؤدى إلى أن تتجه السيقان في نموها إلى أعلى وتتجه الجذور إلى أسفل .

ويمكن إثبات تأثير الجاذبية في اتجاه نمو نبات موضوع في وضع أفقى باستخدام جهاز الكلينوستات (Klinostat) . ويتركب هذا الجهاز من قرص فلىنى . يتحرك ببطء حول محور أفقى بواسطة جهاز ساعة . فإذا ثبتت النباتات في قرص الكلينوستات بحيث يكون العضو المراد اختباره في وضع أفقى ، فإن النمو يستمر دون أن يحدث انحناء أرضى ، وذلك بسبب تعادل الجاذبية على جوانب العضو النباتى المتقابلة نتيجة لدوران قرص الجهاز ، أى أن تأثير الجاذبية الذى يظهر عندما يكون الجهاز متوقفاً يتعادل عند دورانه .

بعض التأثيرات الأخرى للأوكسين في النبات :

يؤدى الأوكسين - بالإضافة إلى دوره في استطالة الخلايا - أدواراً أخرى في عدد من ظواهر النمو الهامة ، ومن أهم هذه الظواهر ما يأتى :

- ١ - تكوين الثمار اللابذرية .
- ٢ - تكوين الجذور على العقل الساقية والورقية .
- ٣ - تنشيط النمو الكامبيومى وغيره من أوجه النشاط المرستيمى .
- ٤ - تعطيل نمو البراعم الجانبية .
- ٥ - استئصال الأعشاب من المزارع .

تكوين الثمار اللابذرية : من الظواهر المألوفة تكوين ثمار لابذرية مثل البرتقال أبو سرة والعنب البناتى والموز وغيرها . وتتكون الثمار اللابذرية في الطبيعة من أزهار غير ملفحة ، وإذا حدث التلقيح فإنه يكون عديم الأثر في الإخصاب وتكوين البذور .

وقد نجح جوستافسون (Gustafson) ، ١٩٣٦ - ١٩٤٢ ، وآخرون في إنتاج ثمار لابذرية صناعياً ، وذلك بمعاملة ميسم الزهرة أو مبيضها بمعاجين أوكسينية . فإذا خلطت بعض المواد مثل إندول حمض البيوتريك أو إندول حمض الخليك أو فينابل حمض الخليك مع اللانولين ثم استعمل المخلوط كطلاء لقلم الزهرة فإنه يؤدي إلى تكوين ثمار ناضجة خالية من البذور في الطماطم والبيتونيا والفلفل .

ويرى جوستافسون أنه عند تكوين الثمار البذرية يكون نمو المبيض عقب الإخصاب ناتجاً من دخول قدر كاف من الأوكسين عن طريق أنابيب اللقاح أما بالنسبة لتكوين الثمار اللابذرية في الطبيعة ، فيعتقد جوستافسون أن ذلك راجع لتأثير الأوكسين الموجود في مبايض أزهارها بكمية كبيرة تفوق تلك التي توجد في الأنواع التي تتطلب الإخصاب كشرط أساسي لنمو ثمارها :

تكوين الجذور على العقل الساقية والورقية :

لاحظ فان ديرليك (Van derlik) - عام ١٩٢٥ - أن وجود البراعم على العقل ينشط تكوين الجذور إذا زرعت في الوسط الملائم ، وقد عزى هذا التأثير إلى الأوكسين الذي يتكون في البراعم ثم ينتقل إلى الجزء القاعدي من العقلة خلال اللحاء . ووجد فنت (Went) عام ١٩٢٩ أن الأوراق تشبه البراعم في تنشيطها لتكوين الجذور ، فإذا لم تكن العقل تحمل براعم أو أوراقاً فإنه يتكون عدد قليل من الجذور أو لا تتكون جذور على الإطلاق :

وقد ثبت أخيراً أن مستخلص الأوراق والفطريات وكذلك البول وحجوب اللقاح تنشط تكوين الجذور ، وأوضح ثيمان وفنت (Thimann and Went) عام ١٩٣٤ أن المادة المنشطة لتكوين الجذور في هذه المستخلصات تشبه الهيروأوكسين . ومما هو معروف الآن أن الهيروأوكسين يسبب تكوين الجذور كما أن عدداً من الأوكسينات المحضرة مثل إندول حمض البيوتريك وإندول حمض البروبيونيك وألفا نافتالين حمض الخليك لها تأثير مماثل .

وتستعمل هذه المركبات الكيميائية بطريقة عملية وعلى نطاق واسع في المشاتل والحدائق لزيادة التكوين الجذري في العقل التي يكون تكوين الجذور فيها بالطرق العادية بطيئاً أو معدوماً .

الأوكسين والنشاط المرستيمي : إذا عومل سطح القطع لساق نبات - مثل عباد الشمس - بتركيز مرتفع من إندول حمض الخليك في صورة معجون ، فإن انتفاخات ورمية كبيرة أو كالوسات (Calluses) قد تظهر في مكان المعاملة أو بالقرب منه . وقد دل الفحص التشريحي لهذه الانتفاخات على أنها ليست نتيجة لاستطالة الخلايا التي كانت موجودة فحسب بل نتيجة تكوين خلايا جديدة أيضاً ، وتتميز تلك الانتفاخات باختلاف توزيع الأنسجة الوعائية فيها ، فهي لا توجد مرتبة كما هو الحال في الساق الأصلية بل توجد في محيطات غير منتظمة .

وتوجد في الطبيعة انتفاخات أو كالوسات كثيرة تشبه في مظهرها تلك الانتفاخات التي تكونت بتأثير الأوكسين . ومن أمثلة ذلك الانتفاخات الورمية التي تظهر على أنواع مختلفة من النباتات نتيجة للإصابة ببكتيرية مرض التورم القمي المعروفة علمياً باسم أجروباكثيريام تيوميفيسيانز (*Agrobacterium tumefaciens*) . فإذا أصابت هذه البكتيرية أنسجة نبات ما ظهرت حالة تعرف بالتورم القمي (Crown - gall) ومن أعراضها تكوين انتفاخات ورمية كثيرة على الساق والجذر ، وتعزى هذه الانتفاخات دون شك إلى الأوكسين المتكون في أنسجتها .

وبالإضافة إلى عمل الأوكسين في تكوين الانتفاخات الورمية فإنه يؤثر في النشاط المرستيمي للخلايا الأخرى التي تشترك في تكوين هذه الانتفاخات . فالأوكسين الذي يتكون في البرعم الطرفي يستحث النشاط الكامبيومي وينظمه في النباتات الخشبية ، ومن المحتمل أن يكون استئناف النمو الكامبيومي في الربيع راجعاً إلى الأوكسين الذي يتكون في البراعم في ذلك الفصل ، وقد يكون من الممكن استحثاث النشاط الكامبيومي باستخدام الأوكسين صناعياً . فقد

أوضح سنو (Snow) - عام ١٩٣٥ - أن وضع قطعة من الآجار المحتوية على الأوكسين مكان قمة الساق المنزوعة في بادرة عباد الشمس يؤدي إلى بدء النشاط المرستيمي العادي في الكامبيوم .

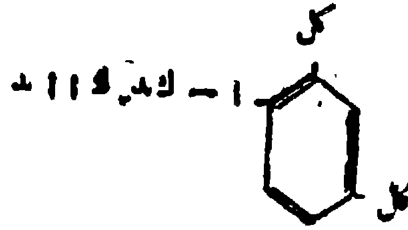
تعطيل نمو البراعم : مما هو معروف أن البراعم الجانبية في معظم النباتات تبقى كامنة طالما كان نشاط البرعم الطرفي قائماً . فإذا ما استوصل البرعم الطرفي فإن برعماً أو أكثر من البراعم الإبطية يبدأ في النمو . والبرعم الجانبي الذي ينمو يقوم بدور البرعم الطرفي ، بمعنى أنه يوقف نمو البراعم الجانبية التي على محوره ، وتعرف هذه الظاهرة بالسيادة القمية (Apical dominance) :

وقد أثبت ثيان وسكوج (Thimann and Skoog) - في عامي ١٩٣٣ و ١٩٣٤ - أن الأوكسين الذي يتكون في البرعم الطرفي وينتقل إلى أسفل خلال الساق هو المسئول عن تعطيل نمو البراعم الجانبية . فإذا أزيل البرعم الطرفي بدأت البراعم الإبطية في النمو وأصبحت لها القدرة على تكوين الأوكسين ، والدليل على ذلك أنه عندما فصل البرعم الطرفي ووضعت مكانه قطعة من الآجار - تحتوي الأوكسين - ظلت البراعم الجانبية ساكنة تماماً كما يحدث في النباتات التي لم تستأصل براعمها الطرفية .

وقد عزى ثيان (١٩٣٧) تثبيط نمو البراعم الجانبية بتركيزات من الأوكسين تقل كثيراً عن التركيزات الموجودة في البرعم الطرفي وتسبب نموه إلى زيادة حساسية البراعم الجانبية عن السيقان للأوكسين ، قالتركيزات التي تنشط نمو السيقان تعطل نمو البراعم الجانبية .

الأوكسينات كمبيدات عشبية : تستعمل الأوكسينات في الوقت الحاضر على نطاق واسع في مقاومة الأعشاب ويعتمد هذا الاستعمال على أن بعض المواد الكيميائية المحضرة - التي لها نشاط أوكسيني عندما توجد بتركيزات جد منخفضة - تصبح سامة جداً للكثير من النباتات إذا استعملت بتركيزات عالية نسبياً . وقد ثبت أن أحماض فينوكسي الخليك (Penoxycetic acids)

على وجه الخصوص ذات أثر فعال في مقاومة الأعشاب . وأكثر مواد هذه المجموعة استعمالاً هو حمض ٢ ، ٤ - دايكلورو فينوكسي الخليك (2,4-dichlorophenoxyacetic acid) ، وشهرته ٢،٤ - د (2,4 D) ، وتركيبه الكيميائي كما يلي :



ويمكن أن يؤخذ تأثير مركب « ٢ ، ٤ - د » في النباتات كمثال لعمل المبيدات الهرمونية ، فهو يدخل الأوراق بسهولة إذا رش به النبات أو استعمل كمادة تعفير ، ثم ينتقل بسرعة إلى أجزاء النبات الأخرى ، ويؤثر على وجه الخصوص في الأنسجة المرستيمية . والسرعة التي يتم بها انتشار هذا المركب خلال النبات تساهم إلى حد كبير في تأثيره السام .

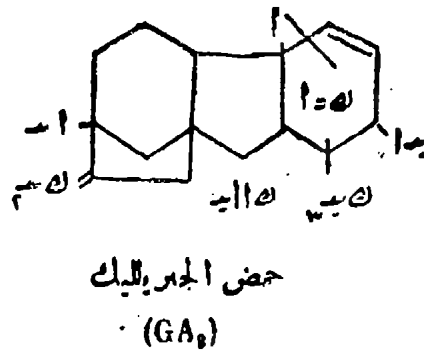
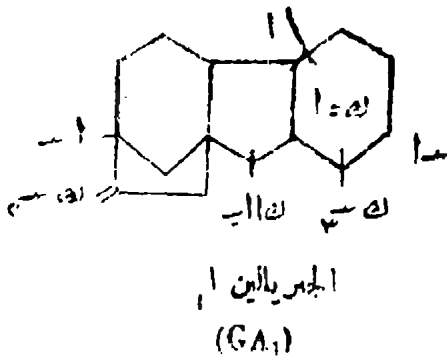
وتتفاوت النباتات المختلفة في مدى استجابتها لتأثير مركب « ٢،٤-د » فنباتات الحبوب ومعظم النجيليات الأخرى أقل تأثراً به من النباتات ذات الأوراق العريضة ، كما أن النباتات الخشبية أكثر مقاومة لتأثيره من معظم الأنواع العشبية . وهذا التأثير الانتخاني هو أحد مميزات هذا المركب وكثير غيره من المبيدات العشبية ، فالأعشاب ذوات الأوراق العريضة التي تنمو في حقول محاصيل الحبوب يمكن أن تستاصل عند رشها بتركيزات مناسبة من أحد المبيدات العشبية الهرمونية .

الجبريلينات

توجد بالإضافة إلى الأكسينات مواد نمو أخرى تماثلها في بعض نواحي نشاطها الفسيولوجي ، إلا أنها تختلف عنها كيميائياً . وقد أطلق على هذه المواد الجبريلينات (Gibberellins) ، وهي تتميز بقدرتها على زيادة استطالة السيقان عندما تعامل بها نباتات معينة تتصف بالتقزم الوراثي .

وقد اكتشف اليابانيون الجبريلينات كمجموعة من مواد النمو تكونها الفطيرة الممرضة لنبات الأرز (*Gibberilla fujikuroi*) . وأهم أعراض مرض الأرز هو النمو المتزايد للنباتات المصابة مع الاستطالة الملحوظة للسلاميات ، وعندما تكون الإصابة خفيفة فإن أعراض المرض تماثل أعراض النباتات التي تعاني من الشحوب الظلاى .

وتوصف الجبريلينات كيميائياً بأنها تحتوى تركيب الجيبين (Gibbane structure) الذى يتكون من حلقتين سداسيتين وحلقتين خماسيتين . وفيما يلى تركيب اثنين من الجبريلينات هما حمض الجبريلليك (GA_3) والجبريللين ١ (GA_1) .



وعلى عكس الهرمونات التي يوجد منها واحد فقط فإنه توجد أربع وثلاثون جبريلينا (كومب - Coombe - ١٩٧١) ليست كلها ذات نشاط هرمونى ، وأكثرها شيوعاً هو حمض الجبريلليك (GA_3). وتنتمى الجبريلينات إلى التربينات الثنائية (Diterpenes) - ك. ٢. يد ٣ - وربما تكونت منها .

وتوجد الجبريلينات بتركيزات عالية فى البذور إذ تصل إلى ٤٧٠ ميكروجرام لكل جرام من الوزن الرطب للإندوسبرم ، وتقل عن ذلك كثيراً فى الأجزاء الخضرية ، وبوجه عام تكون الجبريلينات أعلى تركيزاً فى المناطق سريعة النمو . والجبريلينات - على عكس الأوكسين - غير قطبية فى انتقالها ، فهى تنقل فى الاتجاهين : وكان المعتقد أنها تتكون فى الجذور ، إلا

أن البحوث الحديثة دلت على أنها تتكون في المجموع الحضري وليس الجذر إلا مكان لتحولاتها .

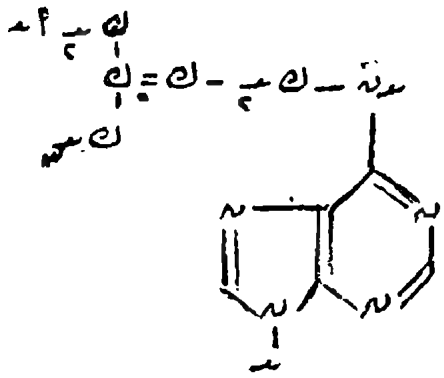
وتشبه الجبريلينات الأوكسينات في بعض التأثيرات الفسيولوجية مثل استطالة خلايا السيقان وتكوين الثمار اللابذرية ، إلا أنها تنفرد بتنشيطها للإنبات وإزالة الكمون في البذور ، كما أنها تنشط نمو النبات الكامل وخاصة الأنواع القزمية وكذلك أوراق النباتات ذوات الفلقة الواحدة . ويعتقد أنها تسهم في ظاهرة السيادة القمية وتزيد العمر التخزيني للثمار . .

وتعزى تأثيرات الجبريلينات إلى تحكمها في النشاط الانزيمي وتنشيطها لعمليات الأيض مثل زيادة الكربوهيدرات الذائبة (نظراً لتنشيطها لإنزيم ألفا أميليز) وزيادة بناء البروتين التي تؤدي إلى زيادة بناء الجدار الخلوي ، وهناك من الأدلة ما يؤيد أن تنظيمها للنمو يرجع إلى تنشيطها لتكوين الأحماض النووية .

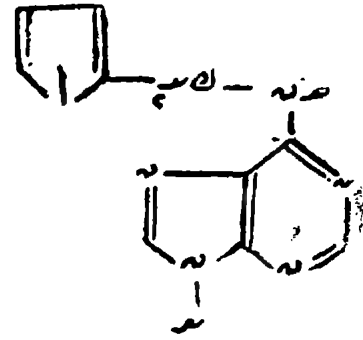
السيتوكينينات

توجد بالإضافة إلى الأوكسينات والجبريلينات مواد نمو أخرى إلا أن تركيبها الكيميائي ودورها الفسيولوجي أقل وضوحاً . فقد حصل سكوج (Skoog) ومرافقوه - ١٩٦٥ - من تحضيرات حمض دياوكسي ريبونيكليك القديمة أو المعقمة على مادة ذات وزن جزئي منخفض أسمها الكينتين (Kinetin) وهي عبارة عن ٦ - فورفوريل أدينين (6-furfuryl adenine) كما أطلق على المجموعة السيتوكينينات (Cytokinins) .

والسيتوكينينات مجموعة من البيورينات المبدلة (6-substituted purines) تنشط الانقسام الخلوي في أنواع معينة من التحضيرات النسيجية مثل نسيج الكالوس في نبات الطباق وذلك في وجود مستوى مناسب من إندول حمض الخليك . ورغم أنه أصبح من المحقق أن مستخلصات الكثير من الأنسجة النباتية ذات نشاط سيتوكيني ، إلا أن واحد منها فقط هو الزياتين (Zeatin) قد أمكن التعرف عليه كيميائياً . وفيما يلي تركيب الكينتين والزياتين .



الزياتين
(Zeatin)



الكينتين
(Kinetin)

وقد دلت البحوث الكثيرة (رادين ولومس — Radin and Loomis ١٩٧١) على أن بناء السيتوكينينات يتم في القمم النامية للجذور ثم تنتقل منها إلى المجموع الخضري حيث تنظم النمو ، كما هو الحال في الحبوب على سبيل المثال . وتحتوي إفرازات الجذور (الأرز) ، كما يحتوى مستخلص بعض الجذور (الفجل) ، على نشاط سيتوكينيى .

وكما يؤثر الأوكسين والجبريلينات في الانقسام الخلوى وزيادة الخلايا في الحجم فإن الكينتين والمواد المشابهة تستحث فيما يبدو ذلك أيضاً . ومن المحتمل أن هذه المواد تعمل متعاونة مع الأوكسين والجبريلينات في التحكم في تميز (Differentiation) النباتات . وهناك من الأدلة ما يؤيد دخول الزياتين في تكوين النيوكليوتيدات . (ميلر — Miller — ١٩٦٥) .

وقد أوضح رايت (Wright) — من دراسته للمراحل المتتابعة لنمو الغلاف الورقى لنبات القمح في وجود حمض الجبريلليك والكينتين وإندول حمض الخليك — أن هناك تركيزاً أمثل من منظمات النمو الثلاثة يختلف باختلاف مراحل النمو الخلوى . ويدل تفاعل مواد النمو مع بعضها البعض وفي وجود مواد غذائية مختلفة أنها ذات تأثير متعاون في نمو الخلايا النباتية وتميزها .

الباب الأربعون

الإزهار

تلى مرحلة النمو الخضري في النبات مرحلة التكاثر التي تتضمن تكوين الأزهار والثمار وتنتهى دورة حياة النبات . ومن المعروف أن الانتقال من الحالة الخضريّة إلى مرحلة التكاثر يرتبط بالتركيب الوراثي للنبات . فالعوامل الوراثية تحدد الوقت والمكان اللذين تظهر فيهما البراعم الزهرية على النبات . غير أنه من الممكن - في الظروف غير الملائمة - ألا تعمل هذه العوامل على الانتقال من الطور الخضري إلى طور الإزهار . فالنباتات لا توجد دائماً في ظروف تلائم استمرار نموها بل تتعرض أحياناً لأحوال جوية تسبب تعطيل النمو كلياً أو جزئياً . وعلى ذلك فتعتمد حياة النباتات - في منطقة من المناطق - على قدرتها على مواسمة نموها في المراحل المختلفة للظروف الجوية السائدة في مختلف الفصول . ومن ثم فلا غرابة في أن تكون هناك في النباتات آليات تخضع في تطورها لتأثير الظروف الجوية . وقد كان كلبس (Kleps) أول من بذل عناية خاصة في دراسة تأثير الظروف الجوية من ناحيتي طول النهار ودرجة الحرارة في نمو النبات وتطوره . فقد لاحظ أن النبات قبل الإزهار لابد أن يصل إلى درجة معينة من النمو الخضري . وقد يتم الإزهار في بعض النباتات بعد بلوغها هذه المرحلة من النمو بغض النظر عن تغير العوامل الخارجية غير أن بعضها الآخر يتطلب معاملة خاصة قبل الوصول إلى هذه المرحلة أو بعدها .

وقد ساعدت آراء كلبس على تفهم استجابة طور الإزهار في النباتات لدرجة الحرارة المنخفضة ولطول النهار ، وهي الاستجابات التي تعرف الآن « بالارتباع » (Vernalization) و « بالتوقيت الضوئي » (Photoperiodism) على التوالي .

الارتباع

أدت بعض المشاهدات إلى الاعتقاد بأن تغير درجة الحرارة في مرحلة مبكرة من نمو نبات مزهر قد تؤثر في تكوين أعضائه التكاثرية . ففي عام ١٩٢٩ ، وجد ميلر (Miller) أن نباتات الكرنب تزهر في وقت مبكر إذا عرضت لدرجة حرارة الشتاء العادية عما إذا حفظت في مكان دافئ . كذلك فإن القمح الشتوى الذى يزرع في الخريف يزهر مبكراً في الصيف التالى ، ولكنه إذا زرع في الربيع فإنه قد لا يزهر على الإطلاق في الفصل الذى يليه . وما يذكر أنه منذ سنين طويلة - حوالى عام ١٨٥٨ - أمكن تحويل القمح الشتوى إلى قح يمكن أن يزرع في الربيع ويعطى محصولاً عادياً ، وذلك باستنباته في درجات حرارة منخفضة في الخريف أو الشتاء ثم الحيلولة دون استمرار نموه بخزنه لأسابيع قليلة عند درجات حرارة قريبة من درجة التجمد (صفر - ٥°م) . فإذا زرعت تلك الحبوب المعاملة في الربيع فإنها تمر بكل مراحل نموها تماماً كما لو كانت الحبوب قد زرعت في الخريف . ويطلق على هذه المعاملة التى تؤدى إلى تأخير الزراعة من الخريف أو الشتاء إلى الربيع التالى اسم « الارتباع » . وقد اختص الارتباع بدراسة مستفيضة وخاصة في روسيا ، وذلك بفرض أن الأنواع الشتوية - التى ترتبع وتزرع في الربيع - تفوق الأنواع الربيعية ، التى تتطلب مثل هذه المعاملة . ومن الممكن ارتباع أنواع أخرى من الحبوب مثل الشعير والشوفان والشيلم والأرز وذلك باتباع نفس الطريقة .

ويبدو أن الارتباع يسبب الإسراع في طور من أطوار النمو ، الأمر الذى يؤدى إلى الانتقال المبكر من النمو الخضري إلى مرحلة التكاثر ، وقد كان المعتقد أن الإزهار المبكر - الذى تؤدى إليه معاملة البذور أثناء إنباتها بدرجة حرارة منخفضة - ينشأ من تلك التحولات التى تتأثر في مراحل النمو الأولى ولكنها أخيراً تسبب الإسراع في الأيض النباتى العام ، غير أنه قد تبين أنه

لا يوجد سوى اختلاف ضئيل بين معدل النمو في النباتات المرتبة وغير المرتبة وعلى ذلك فهناك احتمال قوى أن مادة معينة تتكون في الحبوب المعاملة ، وأن هذه المادة هي المسئولة عن تبكير الإزهار .

وقد قام جريجورى وبيرفيس (Gregory and Purvis) - عام ١٩٣٨ بدراسات كثيرة على الارتباع في نبات الشيلم ، اتضح منها أن الارتباع قابل للانعكاس ، بمعنى أن الشيلم المرتبع قد يفقد تماماً خصائص الارتباع إذا عرض لدرجة حرارة مرتفعة أو خزن في ظروف لاهوائية . كذلك اتضح من هذه الدراسات أنه يمكن إحداث الارتباع في أجنة الشيلم المزروعة إذا زرعت على مزارع آجارية تحتوى على الجلوكوز والأملاح المعدنية ، وعلى ذلك فمن المرجح أن تكون الأجنة هي مكان التأثير بعملية الارتباع .

وقد أيدت تجارب الباحثين السابقين ماسبقت الإشارة إليه من أن الارتباع يعجل بالانتقال من النمو الحضرى إلى مرحلة التكاثر . فقد وجد في نبات الشيلم أن البدايات السبع الأولى التى تخرج من الساق الرئيسية هي بدايات أوراق ، والبدايات الثمانى عشرة التالية تنمو إلى أوراق أو إلى سنابل زهرية حسب درجة الحرارة وطول النهار ، أما البدايات التى تظهر بعد ذلك فتتنمو إلى سنابل . وعلى ذلك فإن الارتباع يؤدى إلى تحويل البدايات التى تظهر في الفترة الوسطى إلى سنابل بدلا من الأوراق .

التوقيت الضوئى

لأطوال الفترات اليومية من الإضاءة والإظلام أهمية كبرى بالنسبة لعملية الإزهار في النبات . ويرجع الفضل في إبراز هذه الأهمية إلى دراسات العالمين الأمريكين جارنر وألارد (Garner and Allard) عام ١٩٢٠ . وقد عبر هذان العالمان عن فترة الإضاءة اليومية باسم « التوقيت الضوئى » (Photoperiodism) ، وأوضحا أن طول فترة الإضاءة اليومية لا يؤثر في النمو الحضرى فحسب بل وفي ميعاد الإزهار أيضاً . ففى إحدى تجاربهما على

سلالة من فول الصويا — بدأها بعدما ظهرت البادرات فوق سطح الأرض — عرضت مجموعة من البادرات إلى إضاءة يومية مقدارها ٥ ساعات في اليوم (من الساعة ١٠ صباحاً إلى الساعة ٣ بعد الظهر) وعرضت مجموعة ثانية لإضاءة يومية مقدارها ٧ ساعات (من ٩ صباحاً إلى ٤ بعد الظهر) وعرضت مجموعة أخرى من البادرات لإضاءة يومية طبيعية (أكثر من ١٢ ساعة يومياً) وذلك للمقارنة ، ويوضح الجدول (٣١) مواعيد الإزهار وارتفاع البادرات المعرضة لتلك الفترات المختلفة من الإضاءة اليومية .

جدول (٣١)

تأثير طول النهار في النمو الخضري وميعاد الإزهار
في فول الصويا (صنف بيكنج)

فترة الإضاءة اليومية	ارتفاع البادرة (بالبوصات)	تاريخ الإزهار
١٠ صباحاً — ٣ بعد الظهر	٥ — ٦	١٢ يونيو
٩ صباحاً — ٧ بعد الظهر	٨	١٠ يونيو
طول النهار	٤٢ — ٤٨	٢١ يوليو

ولا يؤثر طول فترة الإضاءة اليومية على تاريخ الإزهار فحسب ، بل إنه يحدد كذلك ما إذا كان الإزهار يتم أو لا . ففي إحدى التجارب على نبات الكوزميا ثنائية الأوراق (*Cosmos bipinnatus*) وجد أن الإزهار لا يتم إذا مدت النباتات بعد فترة الإضاءة اليومية بضوء صناعي من الغسق حتى منتصف الليل . فعندما زرعت النباتات في صوبة زجاجية في بداية شهر نوفمبر ، عرضت مجموعة لضوء النهار الطبيعي فأزهرت قبل يناير ، وعرضت مجموعة ثانية لإضاءة إضافية مدتها ثمان ساعات في اليوم فبقيت في طورها الخضري دون أن تزهر على الإطلاق . والشكل (٣٩٢) يوضح نتائج إحدى التجارب التي أجريت على أحد أنواع التبغ .

(شكل ٣٩٢)



أخذ أنواع نبات التبغ المستعملة في تجارب جاردنر وألارد - ١٩٢٠ ، النبات الموجود إلى اليسار كان معرضاً لضوء نهار قصير ، أما النبات الموجود إلى اليمين فكان معرضاً لإضاءة ضافية من الغروب حتى منتصف الليل .

وقد ينشأ الإزهار المبكر في بعض الحالات من إطالة فترة الإضاءة اليومية صناعياً . ففي عام ١٩١٢ ، لاحظ كلبس أنه بينما لم يستطيع أحد أنواع النباتات العصيرية (*Sempervivum funkii*) الإزهار في ضوئية زجاجية خلال أيام الشتاء قصيرة النهار ، فإن تعريضه لإضاءة صناعية مستمرة دفعته إلى الإزهار شتاء وعلى ذلك فإن هذا النبات العصيري يتفاعل بطريقة مخالفة لنباتي فول الصويا والكوزميا .

وقد وضعت أسماء مختلفة للتعبير عن هذا الاختلاف المشاهد في الإزهار . فالنباتات التي لا تزهر إلا إذا عرضت لفترات ضوئية مقدارها اثنتا عشرة ساعة أو أقل تعرف « بنباتات النهار القصير » (Short-day plants) ، والنباتات التي تتطلب - لكي تزهر - فترات ضوئية مقدارها اثنتا عشرة ساعة أو أكثر تعرف « بنباتات النهار الطويل » (Long-day plants) ، أما

النباتات التي تزهر في مجال واسع من الأطوال النهارية فتعرف « بالنباتات المتعادلة » (Indifferent or neutral plants) . وتضم القائمة التالية بعض أنواع النباتات التي تنتمي لهذه المجموعات الثلاث .

نباتات النهار القصير : الأراولة ، الشبيط ، الكوزميا ، بعض أنواع فول الصويا ، الأرز ، الشايك ، بعض أنواع التبغ .

نباتات النهار الطويل : السكران ، البنجر ، الفجل ، الخس ، القمح ، السبانخ ، بعض أنواع الشعير .

نباتات متعادلة : الطماطم ، الفلفل ، الذرة ، الخيار ، القطن ، عباد الشمس .

وعلى الرغم من أن هناك إضاءة يومية مثلى لعملية الإزهار في نباتات النهار القصير والطويل ، فإن الإزهار يحدث في مدى واسع على جانبي هذه القيمة . ففي أحد أنواع فول الصويا - وهو من نباتات النهار القصير - تبلغ الإضاءة المثلى ٩ ساعات يومياً ، ومع ذلك فإن المدى الذي يتم فيه الإزهار يتراوح بين ٦ ساعات و ١٣ ساعة إضاءة يومية . ونبات البلسم - وهو نبات نهار طويل - يزهر إذا كانت الإضاءة اليومية ما بين ١١ و ١٣ ساعة ، أما فترة الإضاءة المثلى فيقال إنها ثلاث عشرة ساعة . ومن الممكن أن يكون هذا التقسيم أكثر دقة وذلك بعد إدخال ما يعرف « بفترات الإضاءة الحرجة » (Critical periods of illumination) فالفترة الضوئية الحرجة بالنسبة لنبات نهار قصير هي تلك التي لا يحدث الإزهار إذا زادت الإضاءة اليومية عنها . فإذا كانت الفترة الضوئية الحرجة لأحد أنواع التبغ هي ١٣ - ١٤ ساعة فإن ذلك يعني أن الإزهار يحدث إذا عرضت النباتات لإضاءة يومية مقدارها ١٣ - ١٤ ساعة أو أقل ، فإذا زادت فترة الإضاءة اليومية عن ١٤ ساعة فإن النمو يستمر خضرية فقط . أما الفترة الضوئية الحرجة لنبات نهار طويل فهي تلك الفترة من الإضاءة التي لا يحدث الإزهار إذا نقصت الإضاءة اليومية عنها ،

وتتراوح هذه الفترة في نبات السكران بين ١٠ و ١١ ساعة . وفي الحقيقة تستطيع معظم نباتات النهار الطويل أن تزهر مع فترات ظلامية قصيرة ، وكثير منها يزهر في غياب الظلام تماماً ، وعلى ذلك فمن الممكن أن يطلق على هذه النباتات اسم « نباتات الليل القصير » (Short-night plants) .

ولما كان طول الفترة الضوئية ذا تأثير ملحوظ على تاريخ الإزهار ، فقد أصبح من الضروري - على الأقل من الوجهة العملية - تعيين طول فترة الاستحثاث (Induction period) ، أي مدى استمرار المعاملة بفترات الإضاءة اليومية القصيرة أو الطويلة (على حسب نوع النبات) حتى يتحقق تكوين الأزهار . وقد تبين أن كل النباتات التي درست (سواء منها ما كان قصير النهار أو طويلة) تستجيب عند تعريضها لعدد صغير نسبياً من الدورات اليومية . فقول الصويا - مثلاً - يتطلب من دورتين إلى أربع دورات قصيرة النهار وذلك لكي يستحث فيه تكوين الأزهار ، ويكفي لاستحثاث الإزهار في نبات الشبيط تعريضه لدورة واحدة قصيرة النهار ، أما نبات الفراولة فيبعد - على النقيض من النباتين السابقين - أكثر خمولا ، إذ يتطلب من ثمان إلى ثلاثين دورة قصيرة النهار وذلك لكي يزهر إذا أعيد إلى دورات طويلة النهار . وبالمثل تتحول نباتات النهار الطويل من الحالة الخضرية إلى الحالة الزهرية إذا عوملت بعدد قليل من الدورات طويلة النهار ، حتى لو أعيدت إلى ظروف ضوئية غير ملائمة لإزهارها . فنبات السكران - مثلاً - يكون أزهاراً وهو معرض لدورات قصيرة النهار بعد تعريضه إلى إضاءة مستمرة قدرها ٧٢ ساعة تقريباً : وليس من المحتم أن تتكون البراعم الزهرية خلال مدة التعريض القصيرة للفترة الضوئية المناسبة ، بل قد يتم تكوينها بعد العودة إلى الفترة الضوئية غير الملائمة للإزهار .

وقد قام بعض الباحثين - وخاصة هامنر وبونر (Hamner & Bonner) - بأبحاث يستدل منها على تكون هرمون منشط للإزهار في الأوراق ، ففي مجموعة من التجارب على نبات الشبيط لاحظ هذان الباحثان ما يلي :

١ - أنه إذا عرضت ورقة واحدة لفترة ضوئية قصيرة على حين عرض باقي النبات لفترة ضوئية طويلة فإن الإزهار يحدث في جميع أجزاء النبات .

٢ - أن النباتات التي نزلت أوراقها لاستجابة للفترات الضوئية .

٣ - وعندما استخدمت في التجارب نباتات ذوات فرعين ، وعرض أحد الفرعين (المانح) لأيام قصيرة النهار ، والثاني (المستقبل) لأيام طويلة النهار ، لوحظ أنه إذا كان الفرع قصير النهار منزوع الأوراق استمر نمو كلا الفرعين خضرياً ، أما إذا كان يحمل أوراقه فإن البراعم الزهرية تتكون على الفرعين .

وتتفق هذه المشاهدات مع الرأي القائل بأن هرموناً منشطاً للإزهار يتكون في الأوراق المعرضة لفترة ضوئية قصيرة ، وأن هذا الهرمون يمكن أن ينتقل من مكان تكوينه إلى فرع النبات الآخر .

وإذا كان الإزهار في نبات النهار القصير ينشأ من مؤثر يتكون في الأوراق نتيجة للمعاملة بفترات ظلامية طويلة ، فإن نباتات النهار الطويل لا تستطيع الإزهار في مثل هذه الظروف . وقد يعزى الفشل في الإزهار في هذه الحالة إلى أنه أثناء الفترات الظلامية الطويلة يتكون في الأوراق عامل مثبط لاستطالة الفرع الزهري ، فإذا نزلت كل الأوراق من قمة نبات السكران الوردية فإن إزهاره يتم حتى في ظروف قصر النهار . وبالمثل يمكن التغلب على التأثير المثبط لليل الطويلة بتبريد الأوراق . وعلى ذلك فإن طول الليل الحرج بالنسبة للإزهار يعتمد على درجة الحرارة التي ينمو فيها النبات . فيجب أن يكون طول النهار أكثر من ١٢ ساعة لكي يحدث الإزهار في نبات السكران عند درجة ٣٠° م ، هذا في حين أن ٩ ساعات تعد كافية عند درجة ١٥° م .

ويرتبط تأثير العامل المثبط لعملية الإزهار - الذي يتكون أثناء الفترات الظلامية الطويلة - بطريقة ما بالتحويلات التي تحدث أثناء عملية التنفس في الورقة ، وعلى ذلك فإن هذا التأثير المثبط يمكن التغلب عليه لا بالتبريد

فحسب بل أيضاً بوضع الأوراق في جو خال من الأكسجين من شأنه أن يعطل التنفس . كذلك يمكن التغلب على التأثير المثبط بإمداد الأوراق بالسكر أثناء فترة الظلام .

والتواقت الضوئي ذو أهمية اقتصادية عظيمة ، فيمكن بواسطته إتمام دورة حياة بعض الحوليات مرتين في سنة واحدة ، ويمكن أن يعطى بعضها الآخر أزهاراً وثماراً لفترة غير محدودة ، كما يمكن أن تستمر حوليات أخرى في نموها الخضري - أى دون أن تكون أزهاراً - إلى فترة غير محدودة . ويمكن بالتحكم في طول النهار جعل الأنواع التي تزهر في أوقات مختلفة في الظروف العادية تزهر في وقت واحد ، ومن ثم يسهل تمام التلقيح بين أنواع لم يكن التلقيح بينها ممكناً .

الفيتوكروم (Phytochrome) :

أدت الأبحاث المبكرة لجارنر وألارد إلى اكتشاف وفصل ودراسة الكثير من صفات الصبغ المسئول عن امتصاص الضوء المؤدى لظاهرة التواقت الضوئي وغيره من الظواهر الفسيولوجية في النبات . وفي خمسينيات هذا القرن أطلق بورثويك (Borthwick) وهندريكس (Hendricks) على هذه انصبغة اسم « الفيتوكروم » . ويوجد الفيتوكروم في صورتين تمتص إحداهما الضوء الأحمر ، وتمتص الأخرى الضوء الأحمر البعيد . وقد اعتبر الباحثون أن الصورة الأخيرة هي الصورة النشطة فسيولوجياً . وتتحول الصورتان فيما بينهما كيميائياً ، كما أن صورة الضوء الأحمر البعيد تتحول إلى الصورة الأخرى ببطء في الظلام أو تتغير إلى مركب غير نشط . ويتم هذا التحول الأخير في الفلقات (كندريك « Kendrick » ورفاقه ، ١٩٧٣) . والفيتوكروم عبارة عن بروتين ذي مجموعة صبغية .

الباب الحادى والأربعون

الوراثية وقوانين مندل

يرجع الفضل الأكبر فى وضع الأسس الأولية لعلم الوراثة إلى القس التشيكوسلوفاكى (جريجور مندل) ، الذى تعد التجارب التى قام بها عام ١٨٦٦ بمثابة أول قيس أضواء الطريق أمام غيره من العلماء ليتبعوا خطاه ، فقادت تلك الخطوات بالتدريج إلى إقامة صرح علم الوراثة الحديث على أساس وطيء . وقبل دراسة قوانين مندل بالتفصيل يجدر بنا أن نلق نظرة تاريخية عابرة على ما سبق تجارب مندل من محاولات للدراسة توارث الأحياء ، لم يذكر التاريخ القديم شيئاً واضحاً عن علم الوراثة وتربية النباتات فى العصور الأولى ، وإنما أشار إلى ما كان لبعض النباتات من أهمية فى بعض الممالك القديمة . فنخيل البلح مثلاً - ويعد من أقدم النباتات المزروعة المعروفة - استغله البابليون والآشوريون ، إذ تدل نقوشهم على مبلغ ما كانوا يوجهون من رعاية لإنتاج نخيل غزير الثمر . ولما كان النخيل ثنائى المسكن - أى يتميز إلى نبات ذكرى وآخر أنثوى - فلا بد أنهم وصلوا فى مدينتهم إلى مدى بعيد بحيث تمكنوا من التمييز بين ذكر النخيل وأنثاه ، وقاموا بعمليات تلقيح بين أكثر النباتات صلاحية لإنتاج ثمار وفيرة طيبة المذاق .

ونبات الأرز ، الذى زرع فى الصين واليابان منذ حشرين قرناً أو أكثر ، أنتخبت منه أنواع توافق شتى المناطق المزروعة ، إذ دلت الآثار التى خلفها الصينيون الأقدمون على أنهم كانوا يوجهون اهتماماً كبيراً نحو انتخاب أجود الأصناف للإكثار من زراعتها ، مما يدل على أنهم كانوا على شىء من الدراية بعلم الوراثة فى ذلك العهد البعيد .

وفى القرن الرابع قبل الميلاد ، اكتشف أرسطو أن التلقيح هو الوسيلة

لدراسة توارث الكائنات ، وناقش المهجين المستولد من التزاوج بين الخيل والحمير ، وبين أن هذا المهجين يختلف باختلاف الأم في أى من الصنفين ، كما أنه ناقش الأسباب التى أدت إلى عقم البغل المهجين ، ولم تقم مناقشات أرسطو على أساس قوى من الجدل العلمى الصحيح ، بل ذهب به الخيال إلى مذاهب شتى مما أدى إلى افتراض الكثير من المذاهب الفلسفية التى لا تمت إلى الحقائق العلمية بصلة ، فافتراض مثلاً إمكان حصول تهجين خلطى بين الكلاب والذئاب لإنتاج هجين من الثعالب .

ولم يتقدم علم الوراثة بعد عهد أرسطو تقدماً يذكر حتى القرن السابع عشر بعد الميلاد ، حين سادت هولندا نزعة قوية لتربية نباتات الأبصال عن طريق الانتخاب ، واقترح أحد العلماء الألمان « كاميراريس » اجراء تلقيح بين النباتات لتحسين الأنواع ، ولم يوضع اقتراح كاميراريس موضع التنفيذ حتى عام ١٧٦٠ ، حين قام كولوروتز بعمليات تهجين بين نبات الدخان وغيره من النباتات .

وبينما كان كولوروتز يواصل تجاربه وضعت جمعية العلوم البروسية عام ١٨١٩ - وهى على غير بيئة مما يقوم به كولوروتز آنئذ من تجارب تهجين - جائزة مالية كبيرة لمن يستطيع إثبات جواز حدوث التهجين بين النباتات ، ومنذ ذلك الحين تركزت جهود علماء النبات والمشتغلين بفلاحة البساتين فى إثبات إمكان حدوث تلقيح خلطى بين النباتات . وأول من نجح فى القيام بعملية تلقيح بين النباتات هو العلامة « فارر » على نبات القمح لإنتاج سلالات ممتازة ومقاومة لمرض الصدأ ، وقد نجح فى القيام بعملية التلقيح إلا أنه عجز عن تحليل نتائج العملية لا سيما فى نباتات الجيل الثانى ، الذى أسماه بالجيل الوحشى لكثرة ما به من اختلافات .

وبرغم تلك التجارب الأولية ، لم يحاول أحد العلماء أن يضع قوانين محددة للوراثة . وكانت أولى تلك المحاولات هى التى قام بها « فرانسيس جالتون » ، إذ وضع قانوناً أسماه قانون الوراثة العائلية ، ويتلخص فى أن

النتاج يكتسب من كل صفة وحدة يشترك فيها الأبوان والأجداد والأسلاف بنسب محددة ، وثبت فيما بعد خطأ هذا القانون .

وقد ظلت الوراثة من الأمور التي يصعب تفسيرها حتى القرن التاسع عشر عندما تقدمت معارف الإنسان عن الشقية في النباتات ، وأجريت تجارب عديدة في التهجين النباتي ، وأمكن الحصول على سلالات تجمع بين صفات (الأب) و صفات (الأم) ، ولكن ظل هذا الدور الذي يقوم به كل منهما مجهولاً لا سبيل إلى معرفته ، وكثرت تبعاً لذلك التفسيرات الخاطئة ، وكان من بين هذه التفسيرات أن الحيوان المنوي يحتوي على كل تفصيلات الحيوان البالغ بدرجة مصغرة جداً ، وأن البويضة لم تكن إلا بمثابة موضع يستقر فيه الحيوان المنوي ليستوفي غذاءه ويكمل نموه ، حتى يبلغ الحيوان الصغير الذي يحتويه نضجه ، ويخرج من بطن أمه كامل الحلقة ، إلا أن ظهور بعض صفات الأم في النسل أحياناً ، وتباين أفراد الجيل الواحد ، وجه الاهتمام إلى الدور الذي تقوم به البويضة ومحتوياتها في الوراثة .

وكان أول من قام بإجراء تجارب منظمة على الوراثة هو راهب متنسك يقيم في دير نمسوى ، اسمه جريجور جوهان مندل (Gregor Johann Mendel) وقد قام بتجاربه بهمة ونشاط ، وأمكنه بذلك استكشاف بعض القواعد الأساسية التي تهيمن على هذه العملية في الكائنات الحية ، وأجرى تجاربه على نبات البازلاء (البسلة) فيما بين عامي ١٨٥٧ و ١٨٦٨ ، وسجل نتائج هذه التجارب في عامي ١٨٦٦ و ١٨٦٩ ، إلا أن ما قام به من تجارب لم يسترع اهتمام العلماء إلا في عام ١٩٠٠ .

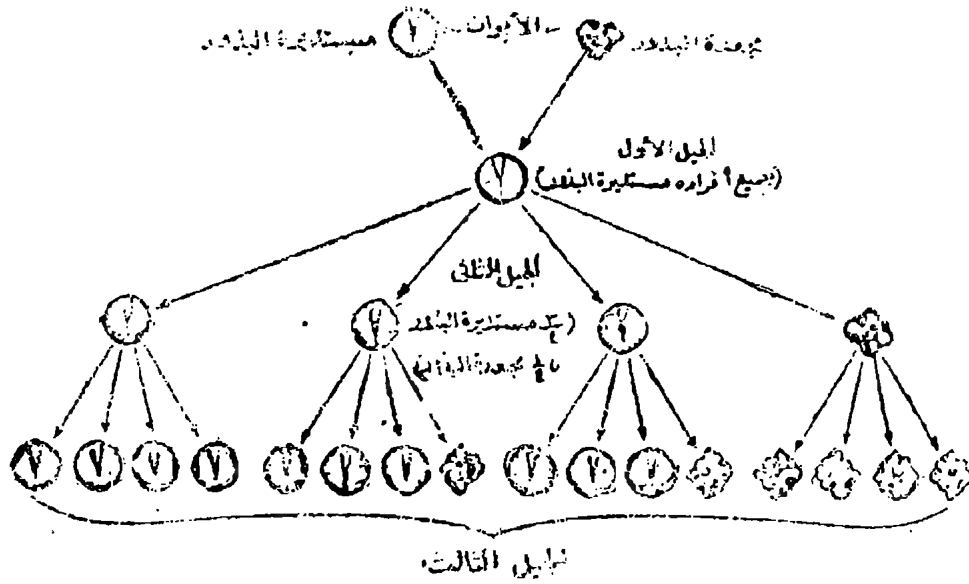
مندل وأثره في علم الوراثة

يرجع الفضل الأول في وضع قوانين عامة ومحددة لعلم الوراثة إلى جريجور مندل الذي ولد ببلدة برن عام ١٨٢٢ ، وما أن بلغ أشده حتى التحق بالدير ، ودروس أثناء تنسكه بالتفصيل جميع ما قام به من سبقوه من المشتغلين بتربية

النباتات ، وعزا فشلهم في الوصول إلى نتائج حاسمة إلى عدم الدقة ومواصلة العمل . ورأى لزوما عليه — وقد وطد العزم على النجاح — أن يبدأ عمله بالحصول على أصول تامة النقاوة ، وأن يجعل دراسته مختصة بكل صفة على حدة . وبعد عدة تجارب أولية وقع اختياره على نبات البازلاء (*Pisum sativum*) وذلك لما لاحظته فيه من تباين كثير من الصفات بين الأصناف ، ولأن تركيب زهرته وطريقة التلقيح فيها يضمنان الحصول على بذور ملقحة تلقيحاً ذاتياً . وقد حصل أولاً على بذور ٢٤ صنفاً مختلفاً ، وزرعها لمدة عامين — قبل القيام بتجاربه — لضمان نقاوة صفاتها ، واختار من بينها ٢٢ صنفاً تظهر فيها صفات متباينة وواضحة وسهلة التعبير ، وهذه الصفات هي :

- (١) شكل البذور : مستديرة أو مجمدة .
 - (٢) لون الفلقات : أصفر أو أخضر .
 - (٣) لون قصرة البذرة : ملون أو أبيض .
 - (٤) قوام القرنة : صلبة أو رخوة .
 - (٥) لون القرنة : أخضر أو أصفر .
 - (٦) موضع الأزهار : في آباط الأوراق أو موزعة على طول الساق أو مرتبة في شكل خيمة عند قمة الساق .
 - (٧) الساق من حيث الطول والقصر : اعتبر مندل الساق طويلة إذا تراوح طولها بين ستة أقدام وسبعة ، وقصيرة إذا تراوح بين $\frac{3}{4}$ و $\frac{1}{4}$ قدماً .
- وقد بدأ مندل تجاربه بدراسة كل زوج من هذه الأزواج السبعة من الصفات على حدة ، مثال ذلك إذا حدث تلقيح بين صنفين من نبات البازلاء — أحدهما مستدير البذور والآخر مجمد البذور (شكل ٣٩٣) — فإن جميع أفراد الجيل البنوي الأول (First filial generation) تكون مستديرة البذور وعند حدوث تلقيح ذاتي بين أفراد الجيل المذكور تنتج أفراد الجيل البنوي الثاني (Second filial generation) ، بعضها مستديرة البذور والبعض

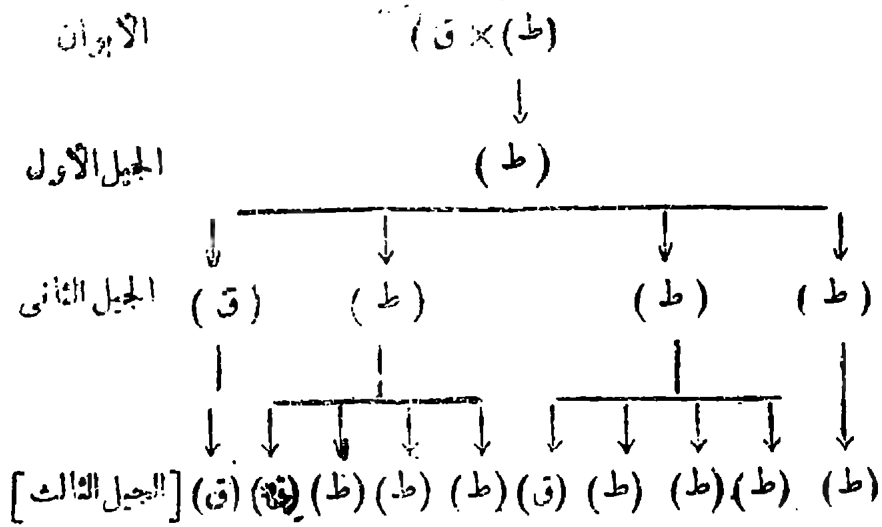
(شكل ٣٩٤)



رسم تخطيطي يبين كيفية توارث صفتي استدارة البذور وتجهدهما في تجارب مندل على نباتات البازلاء (عن سميت)

الآخر مجموعة البذور . ويحدث ذلك بنسبة منظمة وثابتة ، وهي ثلاثة نباتات مستديرة البذور لكل نبات مجموعة البذور (أى أن نسبة أفراد الجيل الثاني هي $\frac{3}{4}$ مستديرة البذور و $\frac{1}{4}$ مجموعة البذور) . وتحافظ النباتات مجموعة البذور من الجيل الثاني - إذا لقحت فيما بينها تلقيحاً ذاتياً - على صفة تجمع البذور في جميع أفراد نتاجها ونتاج نتاجها . أما النباتات مستديرة البذور فلا يحافظ على صفة استدارة البذور فيها إلا ثلث أفرادها ، أما الثلثان الباقيان فينتجان أفراداً مستديرة البذور وأخرى مجموعة البذور بنسبة (٣ : ١) محتدية في ذلك حذو الهجين (Hybrid) الناتج في الجيل الأول .

وكذلك وجدت نفس النسب عند دراسة صفتي الطول والقصر . فإذا رمزنا لصفة الطول بالرمز (ط) ولصفة القصر بالرمز (ق) أمكننا تلخيص نتائج التلقيح حتى الجيل البنوي الثالث (Third filial Generation) حسب الآتي :



وقد عبر مندل عن الصفة التي تظهر أو تسود في الجيل الأول بالصفة السائدة (Dominant character) ، وعن الصفة التي تكون كامنة في الجيل الأول ولكن تظهر فيما يليه من أجيال بالصفة المتنحية (Recessive character) . ففي المثاليين السابقين تسود صفة استدارة البذور على تجعدها ، كما يسود طول النباتات على قصرها . وامتدت دراسات مندل إلى جميع الصفات الأخرى لنبات البازلاء ، كما هو موضح في جدول (٣٢) .

(جدول ٣٢)

أزواج الصفات المدروسة في نبات البازلاء ، تبين صفات الأبوين والصفة السائدة في أفراد الجيل الأول .

الصفات المدروسة	صفات الأبوين	الصفة السائدة للجيل الأول
شكل البذرة	(مستديرة × مجعدة)	(مستديرة)
لون الفلقات	(أصفر × أخضر)	(أصفر)
قصر البذرة	(ملونة × بيضاء)	(ملونة)
شكل القرن	(ممتلي × محرز)	(ممتلي)
لون القرنة	(أخضر × أصفر)	(أخضر)
موضع الأزهار	(إبطي × طرفي)	(إبطي)
الساق	(طويلة × قصيرة)	(طويلة)

وأثبت مندل في كل حالة بذور نباتات الجيل البنوي الأول ، ولاحظ أن الجيل البنوي الثاني يشمل مجموعتين من الأفراد بنسبة ثابتة هي ($\frac{3}{4}$ الأفراد تظهر بها الصفة السائدة و $\frac{1}{4}$ الأفراد تحمل الصفة المتنحية) .

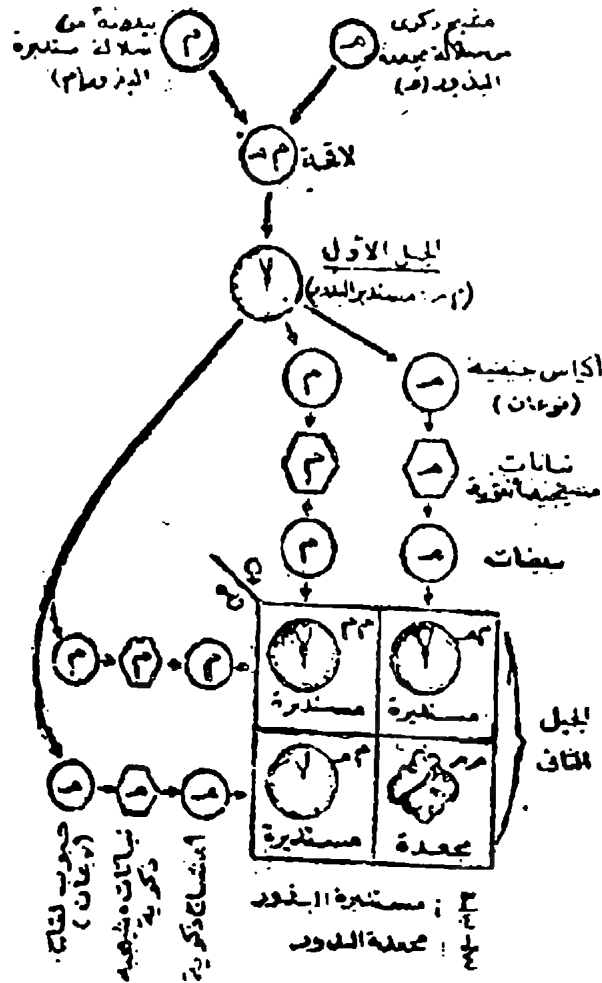
(القانون الأول للمندل)
أو
(قانون الانعزال)

وضع مندل - على ضوء ما أظهرته نتائج تجاربه - القانون الأول من قوانين الوراثة ، وهو المعروف بقانون الانعزال (Law of segregation) ، ونصه كالآتي : « تمثل كل صفة وراثية بعاملين ، ينفصلان عن بعضهما تمام الانفصال عند تكوين الأمشاج » .

فإذا رمزنا (شكل ٣٩٤) لعامل استدارة البذور في النبات الأم مستديرة البذور بالرمز (م م) ولعامل يجعل البذور في النبات الأب يجعد البذور بالرمز (م م) ، فعند تكوين الأمشاج - من ذكورية أو بيضات - ينفصل عامل كل زوج من العوامل الوراثية المتشابهة ، ويعطى النبات الأم بيضات تحتوى كل بيضة على عامل وراثي واحد (م) كما يعطى النبات الأب نوعاً واحداً من الأمشاج الذكورية (م) ، ويكون التركيب الوراثي للإقحة - ولكل فرد من أفراد الجيل الأول - هو (م م) . ومن ثم تكون جميع أفراد الجيل الأول مستديرة البذور . ويعطى كل نبات من أفراد الجيل الأول نوعين من البيضات ونوعين من حبوب اللقاح ، أحدهما تركيبه الوراثي (م) والآخر (م) . وتتكون أفراد الجيل الثاني من الأزواج بين نوعي البيضات وحبوب اللقاح لتكوين لواقح تنشأ منها أفراد تركيبها الوراثي كالآتي :

- ١ - (م م) (مستديرة البذور) - نتي سائد .
- ٢ - (م م) (مستديرة البذور) - هجين سائد .
- ٣ - (م م) (مجمدة البذور) - متنحي .

(شكل ٣٩٤)



رسم تخطيطي يمثل طريقة انتقال العوامل الوراثية لاستدارة البذور (م) واتيجدها (م) حسب القانون الأول لماندل وهو قانون الانزال .

بنسبة واحد من النباتات مستديرة البذور نقية السلالة (م م) ، إلى اثنين من النباتات مستديرة البذور غير نقية السلالة (م م) . إلى واحد من النباتات مجمدة البذور نقية السلالة (م م) . وتعتبر النباتات نقية السلالة (Pure line) — كما تعرف أيضاً بمماثلة التركيب الوراثي (Homozygous) . عند تشابه العاملين الوراثيين ، سواء أكانا سائدين أو متنحيين ، ومن البديهي أنها تنتج أفراداً مماثلة لها تماماً عند التلقيح الذاتي بينهما . أما النباتات التي تحتوي على عاملين وراثيين مختلفين (م م) فتعرف بمماثلة التركيب الوراثي (Heterozygous) أو هجن أحادية (Monohybrids) .

وعلى ذلك يتميز أفراد الجيل الثانى مظهرياً إلى نوعين ، أحدهما مستدير البذور — وتركيبه الوراثى إما (م م) أو (م م) — والآخر مجعد البذور (م م) ، ويمثل النوعان الطراز المظهري (Phenotype) لأفراد الجيل الثانى بنسبة (٣ نباتات مستديرة البذور لكل نبات مجعد البذور) ، أى بنسبة ($\frac{3}{4}$ نباتات مستديرة البذور : $\frac{1}{4}$ نباتات مجعدة البذور) . أما الطراز الجينى (Genotype) فيكون على ثلاث أنواع بالنسب الآتية : « ١ (م م) : ٢ (م م) : ١ (م م) » .

ولا يحتوى المشيخ الواحد إلا على عامل وراثى واحد ، فهو إما أن يحمل العامل الوراثى لاستدارة البذور (م) أو العامل الوراثى لتجعدها (م) ، ولكن لا يحدث بحال من الأحوال أن يحمل نفس المشيخ العاملين الوراثيين لاستدارة البذور وتجعدها معاً .

وقد وضع مندل تبعاً لذلك تفسيرات لتعليل نتائج تجاربه ، يمكن تلخيصها كالآتى :

وحدة الصفات المستقلة : ويقصد بها أن الكائن الحى — الذى يعد بمثابة مجموعة كاملة فى سائر صفاته الخارجية وخواصه الفسيولوجية — يمثل أيضاً مجموعة وحدات وراثية ، كل وحدة منها مستقلة تمام الاستقلال عما عداها من وحدات ، أو بمعنى آخر أن الصفات الوراثية تكون وحدات مستقلة ، لا تتأثر وحدة كل صفة منها بوحدات الصفات الأخرى . ولنضرب لذلك مثلاً الهجين الناتج من تلقيح أبوين أحدهما طويل والآخر قصير ، فإنه يكون دائماً ثابتاً بالنسبة لسيادة صفة الطول بغض النظر عما إذا كان أحد الأبوين أو كلاهما مستدير البذور أو مجعدها ، أو كان أحد الأبوين أو كلاهما أحمر الأزهار أو أبيضها ، أو غير ذلك من شتى الصفات . فصفة الطول هى وحدة مستقلة فى كيفية توارثها لا تتأثر بما عداها من وحدات أو صفات وراثية فى نفس النبات .

السيادة ؛ تحتوى المادة الجرنومية على وحدات من شأنها إظهار الصفات التى تسود أثناء تكوين جسم الهجين فتظهر ، وتسمى هذه الصفة بالصفة السائدة ، أما الصفة التى يتم السيادة عليها — وتبقى كامنة ما بقيت الصفة السائدة — فتعرف بالصفة المتنحية . وقد توجد الصفات المتنحية فى مادة الجرثومة ولكن لا نشعر بوجودها أو تأثيرها فى حضور الصفة السائدة ، فإذا ما غابت الصفة السائدة أصبحت الصفة المتنحية حرة فى إبداء تأثيرها ، فمثلا فى حالة البازلاء تكون استدارة البذور هى السائدة وتجمعدها هى الصفة المتنحية ، فإذا ما ظهرت صفة تجعد البذور فى فرد من أجيال هذا الهجين كان ذلك دليلا حاسماً على خلو هذا الفرد خلواً تاماً من صفة استدارة البذور ، ويطلق على صفتى استدارة البذور وتجمعدها — وما شابههما من أزواج الصفات الأخرى كالطول والقصر وكاصفرار الفلقات واخضرارها — بالصفات المتضادة (Allelomorphic characters or Allelomorphs) ، وهى أزواج من الصفات متضادة التأثير ، إحداهما سائدة والأخرى متنحية .

نقاوة الأمشاج : لا يحتوى كل مشيج إلا على صفة واحدة من الصفات المتضادة . ولا يمكن بحال من الأحوال أن يجمع نفس المشيج بين الصفتين المتضادتين .

والتفسيرات الثلاثة — وهى وحدة الصفات المستقلة والسيادة ونقاوة الأمشاج — كان فيها الشرح النظرى الكافى لكيفية توارث الصفات حسب القانون الأول لمندل ، وتعد نقاوة الأمشاج أهم هذه التفسيرات ، إذ دلت أبحاث علم الخلية (Cytology) فيما بعد على التوافق التام بين افتراض مندل لنقاوة الأمشاج وبين سلوك الصبغيات عند تكوين تلك الأمشاج ، وسنشرح هذا التوافق فيما بعد بإسهاب .

التلقيح الرجعى : (Back-cross) . التلقيح الرجعى هو تهجين بين فرد من أفراد الجيل الأول متباين التركيب الوراثى (Heterozygous) مع أحد

الأبوين متشابهى التركيب الوراثى (Homozygous) لسكل من الصفتين المدروستين . مثال ذلك التلقيح بين نبات البازلاء من أفراد الجيل الأول مستدير البذور متباين التركيب الوراثى (م م) وبين أب متشابه التركيب الوراثى إما بالنسبة لاستدارة البذور (م م) وإما لتجعدها (م م) . ففى الحالة الأولى (م م × م م) تنتج أفراداً جميعها مستديرة البذور ، فهى تتشابه مظهرياً ولكنها تختلف من حيث طرزها الجينية ، فنصفها (م م) والنصف الآخر (م م) . أما إذا حدث التلقيح الرجعى بين أفراد الجيل الأول متباين التركيب الوراثى وبين الأب متشابه التركيب الوراثى للصفة المتنحية (م م × م م) فإن نصف الأفراد الناتجة تكون مستديرة البذور (م م) والنصف الآخر مجمدة البذور (م م) ، حيث تتشابه نسب الطرز المظهرية والجينية ، فتكون بنسبة (١ : ١) .

التلقيح الإختبارى (Test-cross) : إذا حدث تلقيح بين فرد يحمل صفة سائدة غير محددة الطراز الجينى وبين فرد آخر متشابه التركيب الوراثى للصفة المنتجة عرف هذا النوع من التلقيح بالتلقيح الإختبارى ، لأنه يعد بمثابة اختبار للطراز الجينى للفرد الأول من حيث مدى نقاوه الصفة السائدة ، وما إذا كانت موجودة فى حالة متشابهة أو متباينة التركيب الوراثى ، فإذا كان الطراز المظهرى لأفراد الجيل الناتج عن هذا التلقيح الإختبارى يحدث بنسبة (١ : ١) — بمعنى أن نصف الأفراد يحملون الصفة السائدة والنصف الآخر يحملون الصفة المتنحية — دل ذلك على وجود العامل السائد فى حالة متباينة التركيب الوراثى ، أما إذا كانت جميع الأفراد الناتجة مظهرة للصفة السائدة دل ذلك على وجود العامل السائد فى حالة متشابهة التركيب الوراثى .

ويستغل التلقيح الإختبارى عملياً لإثبات ما إذا كان نبات ما يحمل صفة سائدة — ومجهول الأصل الوراثى — متشابه أو متباين التركيب الوراثى بالنسبة لهذه الصفة ، ففى بعض سلالات من نبات الترمس يسود لون احمرار الأزهار على بياضها . ولما كان السوق يتطلب البذور المنتجة لنباتات تحمل أزهاراً حمراء

فإن المشتغلين بتجارة هذه البذور يعمدون إلى القيام بعمليات تلقيح اختبارية لتعيين الطرز الجينية للنباتات المنتجة للبذور ، حتى يكونوا على بينة من أن جميع البذور التي سوف يطرحونها في السوق لا تنتج سوى نباتات حاملة لأزهار حمراء ، فإذا كانت النباتات حاملة الأزهار الحمراء—والتي سوف تطرح بذورها في الأسواق — متشابهة التركيب الوراثي فإن جميع البذور الناتجة عنها تعطى نباتات تحمل جميعها أزهاراً حمراء . أما إذا كانت متباينة التركيب الوراثي فإن ربع ما تنتجه من بذور تعطى نباتات بيضاء الأزهار ، ولذلك تختبر نقاوة احمرار الأزهار في هذه النباتات بتلقيحها اختبارياً مع نباتات ذات أزهار بيضاء ، ولا تستغل سوى النباتات متشابهة التركيب الوراثي لاحمرار الأزهار في إنتاج البذور المعروضة في الأسواق . وعلى نسق مشابهة يستغل مربوا الأغنام التلقيح الاختباري لإختبار مدى نقاوتها للون الفرو المرغوب فيه في الأسواق ..

(القانون الثاني لمندل)

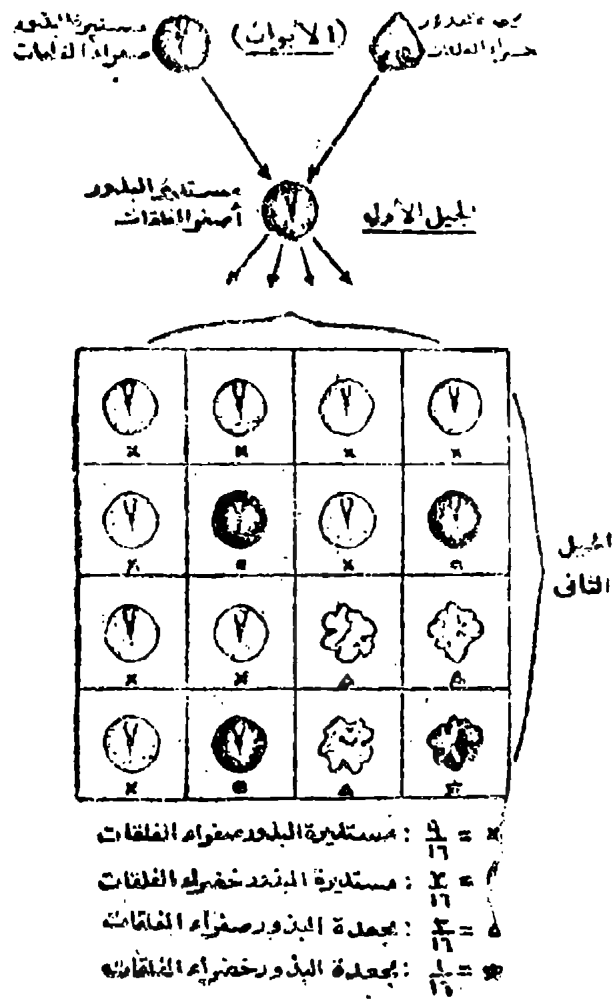
أو

(قانون التوزيع المستقل)

لم تقتصر دراسة مندل على التهجين بين أبوين مختلفان في زوج واحد من الصفات ، بل امتدت تجاربه لتشمل التهجين بين أبوين مختلفان في زوجين أو أكثر من الصفات المتضادة ، وعندما هجن مندل بين نباتات بازلاء مستديرة البذور صفراء الفلقات وبين أخرى مجمدة البذور خضراء الفلقات ، كانت بذور جميع أفراد الجيل الأول مستديرة البذور صفراء الفلقات (شكل ٣٩٥) كما هو المنتظر من الهجن الأحادية (Monohybrids) عند دراسة كل زوج من الصفات على حدة . وعند التلقيح الذاتي بين أفراد الجيل الأول نتجت أفراد الجيل الثاني على أربعة طرز — من حيث شكل البذور ولون الفلقات — كالآتي :

- (أ) أفراد مستديرة البذور صفراء الفلقات ونسبتها ٩ .
 (ب) أفراد مستديرة البذور خضراء الفلقات ونسبتها ٣ .
 (ح) أفراد مجعدة البذور صفراء الفلقات ونسبتها ٣ .
 (د) أفراد مجعدة البذور خضراء الفلقات ونسبتها ١ .

(شكل ٣٩٥)



رسم تخطيطي بين طريقة توارث صفات استدارة البذور أو تجعدها من جهة وأصفرار
 الفلقات أو اخضرارها من جهة أخرى في نبات البازلاء ، حسب القانون الثاني لاندل (قانون
 التوزيع المستقل) ، وبين اخضرار الفلقات في الرسم بالتظليل الأسود

ويفترض القانون الثاني لاندل — أو قانون التوزيع الحر أو المستقل —
 أن كل زوج من الصفات المتضادة يكون مستقلاً في توارثه تمام الاستقلال

عما عداه من أزواج ، بمعنى أن توارث استدارة البذور وتجعلها يكون مستقلا تمام الاستقلال عن توارث اصفرار الفلقات واخضرارها ، ومن ثم فلا بد من أن تكون النسبة بين النباتات مستديرة البذور ومجموعة البذور هي (٣ : ١) في الجيل الثاني ، وكذلك تكون نفس النسبة بين النباتات صفراء وخضراء الفلقات . وبين الجدول الآتي (جدول ٣٣) الأعداد الفعلية كما وجدها مندل ، والأعداد المنتظرة — حسب قانونية الأول والثاني — بين أفراد الجيل الثاني .

(جدول ٣٣)

الأعداد الفعلية والمنتظرة والنسب التقريبية لأفراد الجيل الثاني الناتجة عن التهجين بين نبات بازلاء مستدير البذور أصفر الفلقات وآخر مجعد البذور أخضر الفلقات .

الأفراد الناتجة	العدد الفعلي	العدد المنتظر	النسب التقريبية
مستديرة صفراء	٣١٥	٣١٣	٩
مستديرة خضراء	١٠٨	١٠٤	٣
مجموعة صفراء	١٠١	١٠٤	٣
مجموعة خضراء	٣٢	٣٥	١

فإذا ما درسنا كل زوج من الصفات المتضادة على حدة تبين لنا أنها توجد بين الجيل الثاني بنفس النسبة (٣ : ١) التي توجد بها في الهجن الأحادية . فمثلا عند دراسة الصفتين المتضادتين — استدارة البذور وتجعلها — نجد ما يأتي :

بذور مجعدة

١٣٣

١٣٩

بذور مستديرة

٤٢٣

٤١٧

العدد الفعلي

العدد المنتظر

:

فالنسبة بين الأعداد الفعلية شديدة القرب من النسبة المنتظرة وهي
(١ : ٣) .

وتنطبق نفس النسبة في حالة الزوج الآخر من الصفات المتضادة المدروسة — أى اصفرار الفلقات واخضرارها — كما هو مبين فيما يلي :

فلقات صفراء	فلقات خضراء
العدد الفعلى ٤١٦	١٤٠ :
العدد المنتظر ٤١٧	١٣٩٠

من هذا يتضح أن القانون الأول لمندل — وهو قانون الانعزال — ينطبق تمام الانطباق على الهجن الناتجة من أبوين مختلفان في أكثر من زوج من الصفات المتضادة ، كما أن توارث كل زوج من الصفات المتضادة يعد مستقلاً تمام الاستقلال عن توارث ما عداه من أزواج أخرى من الصفات ، أى أن توارث صفتي استدارة البذور وتجدها مستقل تمام الاستقلال عن توارث صفتي اصفرار الفلقات واخضرارها كما يتضح من التحليل الآتي :

٣ صفراء	= ٩ مستديرة صفراء	<div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> <div style="border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; padding: 0 10px;"> ٣ مستديرة ١ مجمدة </div> </div>	الجيل الثاني
١ خضراء	= ٣ مستديرة خضراء		
٣ صفراء	= ٣ مجمدة صفراء		
١ خضراء	= ١ مجمدة خضراء		

أو بمعنى آخر تكون نسبة أفراد الجيل الثاني كالاتي : (أ) $\frac{9}{16}$ أفراد مستديرة البذور صفراء الفلقات ، وهي تمثل الصفتين السائدتين ، (ب) $\frac{3}{16}$ أفراد مستديرة البذور خضراء الفلقات ، أى بها صفة سائدة هي استدارة البذور ، وأخرى متنحية ، هي اخضرار الفلقات ، (ج) $\frac{3}{16}$ أفراد مجمدة البذور صفراء الفلقات ، أى بها صفة سائدة هي اصفرار الفلقات وصفة متنحية هي تجعد البذور ، (د) $\frac{1}{16}$ أفراد مجمدة البذور خضراء الفلقات ، وهي تمثل صفتين متنحيتين .

وعلى هذا يمكن استنتاج أن النسبة (١ : ٣ : ٣ : ٩) هي النسبة النموذجية للجيل الثاني الناتج عن التهجين بين أبوين مختلفان في زوجين من الصفات ، بينما ينزل كل زوج من الصفات المتضادة مستقلاً عن الزوج الآخر تمام الاستقلال بنسبة (١ : ٣) . فإذا ما رمزنا لاستدارة البذور بالعامل الوراثي (م) ، فغياب هذا العامل أو تنحيه يسبب تجعدها ويرمز للعامل المتنحي بالحرف (مـ) ، كما يرمز لعامل اصفرار الفلقات بالرمز (صـ) وعامل الاخضرار بالرمز (صـ) . ومن ثم فيرمز للنبات الأب مستدير البذور أصفر الفلقات بالرمز (م م صـ صـ) ، وللأب الآخر مجعد البذور أخضر الفلقات بالرمز (مـ مـ مـ مـ صـ صـ) ، فيكون التركيب الوراثي لكل مشيج من أمشاج الأب الأول هو (م صـ) ومن الأب الثاني هو (مـ مـ صـ) ، كما هو موضح (شكل ٣٩٦) . أما أفراد الجيل الأول فيكون تركيبها الوراثي جميعها هو : (م مـ صـ صـ) ، وعند التلقيح الذاتي بين أفراد الجيل الأول تتكون أربعة أنواع من حبوب اللقاح أو البويضات تركيبها الوراثي كالاتي : (م صـ) ، (م صـ) ، (مـ صـ) ، (مـ صـ) . وينتج عن الإخصاب تكوين أفراد الجيل الثاني بالأشكال والنسب المبينة بالشكل .

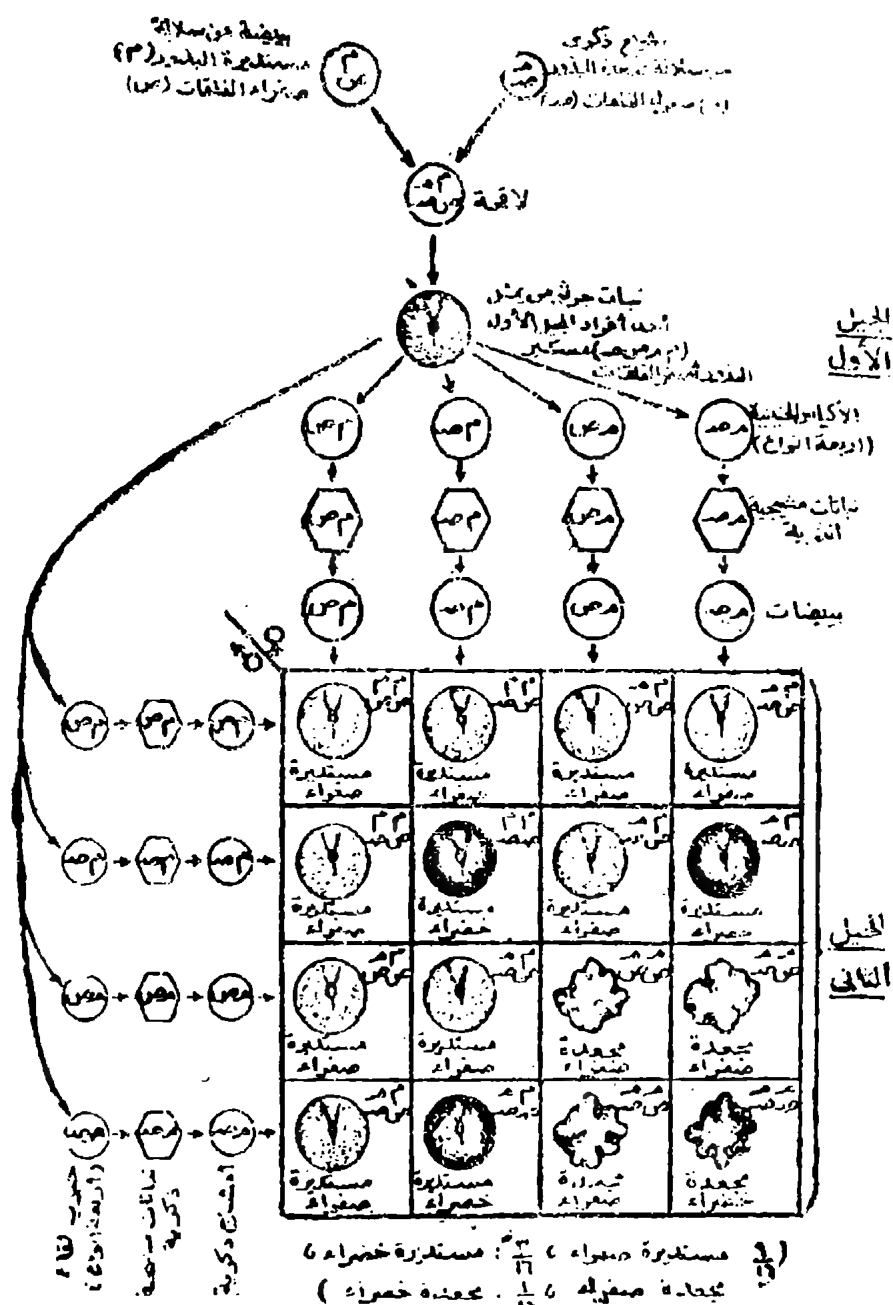
واستنتج من ذلك أن العاملين الوراثيين الخاصين باستدارة البذور وتجعدها مستقلاً تمام الاستقلال عن العاملين الوراثيين الآخرين الخاصين باصفرار الفلقات واخضرارها ، ولا يوجد ارتباط بينهما عند توزيعهما المستقل في الأمشاج ، ووضع مندل قانونه الثاني الذي يعرف بقانون التوزيع المستقل (Law of independent assortment) ، ونصه كالاتي :

« مكونات الأزواج المختلفة من العوامل الوراثية تتوزع توزيعاً مستقلاً عند تكوين الأمشاج » .

توارث الصفات في الحيوانات :

بعد دراسة توارث الصفات في النباتات توجهت البحوث نحو دراسة توارث الصفات في الحيوانات . ومن أهم الحيوانات التي درست دراسة وراثية تفصيلية — لتطبيق النظريات المتبادلة — الفئران (شكل ٣٩٧) والأرانب ، وذلك لسهولة تربية عدد وافر منها ولقصر الزمن بين أجيالها المتعاقبة . وكان من بين هذه البحوث دراسة توارث صفات الفرو في نوع

(شکل ۳۹۶)



رسم تخطيطي يمثل طريقة انتقال زواحين من العوامل الوراثية في نبات البازلاء ، حسب القانون الثاني لمندل أو قانون الخوازم المقل ، حيث يوجد المثلان الوراثيان لاستمارة الحبوب (م) وتجمعها (مس) على صيغتين متماثلتين ، والعاملان الوراثيان لاصفرار الغللات (مر) وإخضرارها (مس) على صيغتين متماثلتين أخريين

من الفئران تعرف باسم « خنازير غينا » (Guinea pigs) — من حيث خشونة
الفرو أو نعومته وتلونه أو بياضه — ووجد أن الخشونة تسود النعومة ، وتلون
الفرو يسود بياضه ، فإذا رمزنا للعوامل الوراثية المسئولة عن هذه الصفات
بالرموز الآتية : —

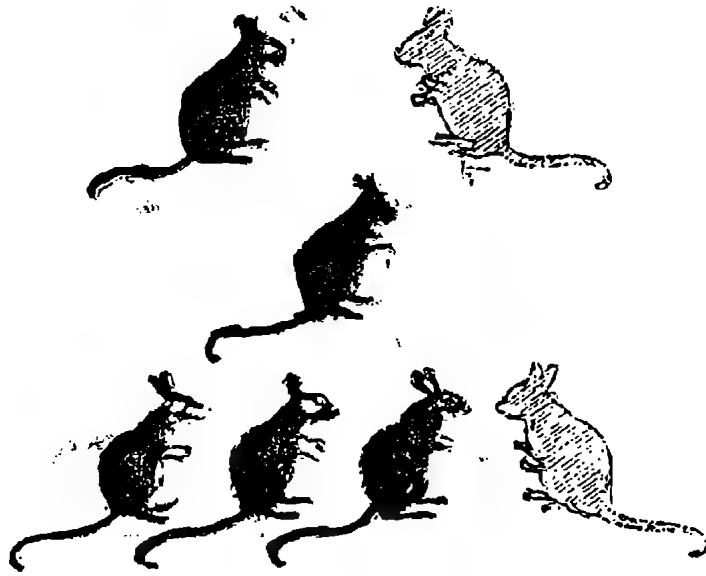
(خ) لخشونة الفرو ،

(خـ) لنعومة الفرو ، وهي متنحية بالنسبة للخشونة .

(م) لتلون الفرو .

(مـ) لبياض الفرو ، وهي متنحية بالنسبة للتلون .

(شكل ٣٩٧)



توارث اللون في الفئران ، حيث يرى في أعلى الشكل الأبوان ، أحدهما أسود اللون
والآخر رمي (المخطط بالشكل أ) وفي الوسط أحد أفراد الجيل الأول التي تكون كلاهما سوداء ،
وفي أسفل أفراد الجيل الثاني بنفسية ثلاثة فئران سوداء لكي فأر رمي اللون ، فبديل على
السيادة للطائفة لسواد اللون على بنيه (عن شول)

فإذا حدث تهجين بين فأر ذي فروة ناعمة ملونة — تركيبه الوراثي
(خـ م م) — وبين آخر خشن الفرو أبيضه (خ خ مـ مـ) ، نتجت أفراد
الجيل الأول جميعها خشنة الفرو ملونة (خ خ مـ مـ) . وتعطى أفراد الجيل
الأول — ذكوراً كانت أو إناثاً — أربعة أنواع من الأمشاج بأعداد متساوية
حسب الطرز الجينية الآتية : — (خ م) ، (خ مـ) ، (خـ م) ، (خـ مـ) .

(شکل ۳۹۸: ج. ۱)

[illegible][illegible]

وعند التهجين الذاتي بين أفراد هذا الجيل نتجت أفراد الجيل الثاني
(شكل ٣٩٨ : ب) بنسب الطرز المظهرية الآتية :

النسبة	الصفات
٢٧	خشنة الفرو ملونة قصيرة الشعر
٩	خشنة الفرو بيضاء قصيرة الشعر
٩	ناعمة الفرو ملونة قصيرة الشعر
٩	خشنة الفرو ملونة طويلة الشعر
٣	ناعمة الفرو بيضاء قصيرة الشعر
٣	خشنة الفرو بيضاء طويلة الشعر
٣	ناعمة الفرو ملونة طويلة الشعر
١	ناعمة الفرو بيضاء طويلة الشعر

ويبين (جدول ٣٤) بعض الصفات المتداوية في الحيوان والإنسان .

نسب الطرز المظهرية للجيل الثاني ونظرية ذات الحدين :

وقد وجد أن عدد أفراد الجيل الثاني — ونسب طرزها المظهرية — لأبوين
يختلفان في أي عدد من أزواج الصفات المتضادة يمكن معرفته بسهولة بتطبيق
نظرية ذات الحدين على مجموعة النسب الأصلية ، وهي (١+٣) ن ، حيث تدل
(ن) على عدد الصفات المختلفة في الأبوين ، كما هو مبين في (جدول ٣٥) .

تفسير قوانين مندل والنظرية الصبغية

كانت الخطوة التالية ، وقد ثبتت صحة القوانين المتداوية في توارث الصفات
أن يتسابق العلماء إلى تفسير هذه القوانين وإيجاد النظريات لتعليل أسبابها .
وقبل اكتشاف المجهر وضعت عدة نظريات ، منها نظرية الإيدوبلازم
(Idiomplasm) ونظرية البلازم الجرثومي (Germ plasm) ، وتفترض
النظرية الأولى وجود مادة خاصة بالخلية وظيفتها تنظيم نقل الصفات الوراثية

من جيل إلى جيل . وقد ظلت هذه النظرية مهيمنة لمدة طويلة حتى اكتشفت الصبغيات أو الكروموسومات (Chromosomes) ، وعندئذ وجد أن كثيراً من الوظائف والصفات التي تقول بها نظرية الإيديوبلازم يمكن أن تحققها وتؤديها الصبغيات ذاتها .

(جدول ٣٤)

بعض الصفات المندلية في الحيوان والإنسان

الكائن	الصفة السائدة	الصفة المتنحية
الإنسان	لون العين البني	لون العين الأزرق
	الأصابع القصيرة	الأصابع العادية
	اللون الأسود	اللون الأحمر
المواشي	عدم وجود القرون	وجود القرون
	سواد الجلد	جلد كستنائي اللون
	جلد رمادي اللون	أي لون آخر
الخيول	الحب في المشي	الخطو في المشي
	لون رمادي	لون أسود
	لون رماه	لون باهت
الكلاب	ذيل سميك	ذيل عادي
	لون أسود	لون أزرق
	شعر قصير	شعر طويل (انجورا)
القطط	لون رمادي	لون أبيض

أما نظرية البلازم الجرثومي فتفترض أيضاً وجود مادة خاصة تحمل الصفات الوراثية ، وأن الفرد يشبه أبويه ، لا لأنهما أنتجاه ، ولكن لأن كلا من الابن والأبوين إنحدر من بلازمة جرثومية واحدة . وفسر ذلك بأنه عندما تنقسم البيضة المخصبة فإن بعض الخلايا الناتجة تبقى بمعزل عن عمليات الانقسام التي تتبع ذلك ، ولا تدخل في تكوين الأعضاء المختلفة للكائن الحي الناتج ، وإنما تستغل مبكرة لتكوين الخلايا الجرثومية لهذا الناشئ الجديد . ومن الطبيعي أن هذه النتيجة باهرة لأنها تركز الوحدات الوراثية في الخلايا الجرثومية وتفسر الكثير من الظواهر الوراثية .

لم يمكن تفسير توارث الصفات تفسيراً علمياً إلا بعد أن تقدم علم الخلية (Cytology) ، واستطاعت المجاهر القوية أن تستكشف جميع ما تحتويه الخلية من محتويات — وخاصة الكروموسومات أو الصبغيات (Chromosomes) — ثم دراسة سلوك هذه الصبغيات دراسة تفصيلية أثناء الانقسامات الخلوية ، وكان ساتون (Sutton) — عام ١٩٠٢ — أول من استكشف أن هناك تطابقاً جلياً بين سلوك الصبغيات وسلوك العوامل الوراثية ، ومهد استكشاف ساتون السبيل للعالم الأمريكي مورجان (Morgan) ليضع النظرية الحديثة لتفسير آلية توارث الصفات في الكائنات الحية ، وهذه النظرية تقول بأن الصبغيات هي حاملات الصفات الوراثية ، وأن كل ما يحدث في الصبغيات ينعكس على صفات الفرد ، وقام مورجان ومعاونوه بدراسات على أكبر جانب من الأهمية أماطوا بها اللثام عن كثير من الغوامض المتصلة بآلية توارث الصفات عن طريق الصبغيات . وكانت غالبية دراسات مورجان وتلاميذه على ذبابة الفاكهة الأمريكية — المعروفة علمياً باسم « دروسوفلا ميلانوجاستر » (Drosophila melanogaster) — ومن أهم مميزات هذه الذبابة أن التناسل يتكرر فيها في مدة تتراوح بين العشرة والأربعة عشر يوماً ، وأن الجيل الواحد قد يصل عدد أفراده إلى أكثر من المائتين ، وقد أمكن معرفة الكثير عن الوراثة وتفسير الظواهر المنديلية في هذه الذبابة نظراً لكثرة عدد أنسلها وسرعة تتابع أجيالها .

النظرية الصبغية

أماط اكتشاف المجهر — وما تبع ذلك من تقدم مستمر في علم الخلية (Cytology) — اللثام عن ماهية المادة الخلوية المسئولة عن انتقال الصفات الوراثية من الأجداد والآباء إلى الأبناء والأحفاد ، إذ وجد أنه إذا صبغنا النواة بأحد الأصباغ التي تبرز تفاصيلها وتظهر مفرداتها ، فإنها لا تصطبغ جميعها بدرجة متساوية ، بل تتميز بداخلها بعض جزيئات دقيقة — تكون عادة مستطيلة — تلهم الصبغ بشراة أكثر مما عداها من أجزاء داخلية للنواة التي تكون عادة باهتة الاصطباغ ، ولذلك سميت هذه الجزيئات الشديدة الشراة للأصباغ باسم الصبغيات أو الكروموسومات (Chromosomes) . ومعناه « الأجسام الملونة » وهذه الخاصية في الصبغيات تشبه تماماً خاصية الاصطباغ في مادة تعرف باسم الصبغين أو الكروماتين (Chromatin) . تحتوى على الحمض النووى (Nucleic acid) . ومن مميزات هذا الحمض احتفاظه بالألوان ذات الطبيعة الكيميائية القاعدية . ونواة الخلية — بما تحتوى بداخلها من صبغيات أو كروموسومات — هي المختصة بالوراثة . ويفصل النواة عن سيتوبلازم الخلية غشاء نووى ، توجد بداخله شبكة من مادة الصبغين وسائل نووى . كما قد يوجد بداخله أيضاً جسم كروى — أو جسمان — يسمى النوية (Nucleolus) . والنواة — والشبكة الصبغينية على وجه الخصوص — هي أهم جزء في الخلية من الوجهة الوراثية والحيوية . إذ تحمل الخيوط الصبغينية (Chromatin threads) الوحدات الوراثية التي تحدد العوامل التي يرثها الابن عن الأبوين . سواء أكان نباتاً أو حيواناً أو إنساناً . والشبكة الكروماتينية أو الصبغينية تمثل حالة النواة في طور السكون . أما في حالة انقسام الخلية فتتفصل الشبكة الصبغينية إلى عدد ثابت من أجسام عصبوية الشكل أو صبغيات . وكل كائن حي تحتوى نواة الخلية فيه — وتستوى في ذلك جميع الخلايا الجسدية — على عدد ثابت من الصبغيات ، إلا أن عددها يختلف باختلاف الكائنات ، حتى أنه كثيراً ما يمكن معرفة نوع النبات

أو الحيوان من عدد الصبغيات التي تظهر في النواة المنقسمة لأية خلية (جدول ٣٦) .

وتختلف الصبغيات — في نواة كل خلية — فيما بينها من حيث الشكل والحجم والترتيب ، إلا أنها توجد في أزواج متماثلة ، بمعنى أن لكل صبغى صبغياً مماثلاً (Homologous chromosome) ، فتوجد مثلاً في كل خلية من خلايا نبات القمح أربعة عشر صبغياً ، تنظم في سبعة أزواج من الصبغيات المتماثلة ، وفي ذبابة الفاكهة ثمانية صبغيات تنظم — من حيث التماثل — في أربعة أزواج ، وهكذا دواليك .

(جدول ٣٦)

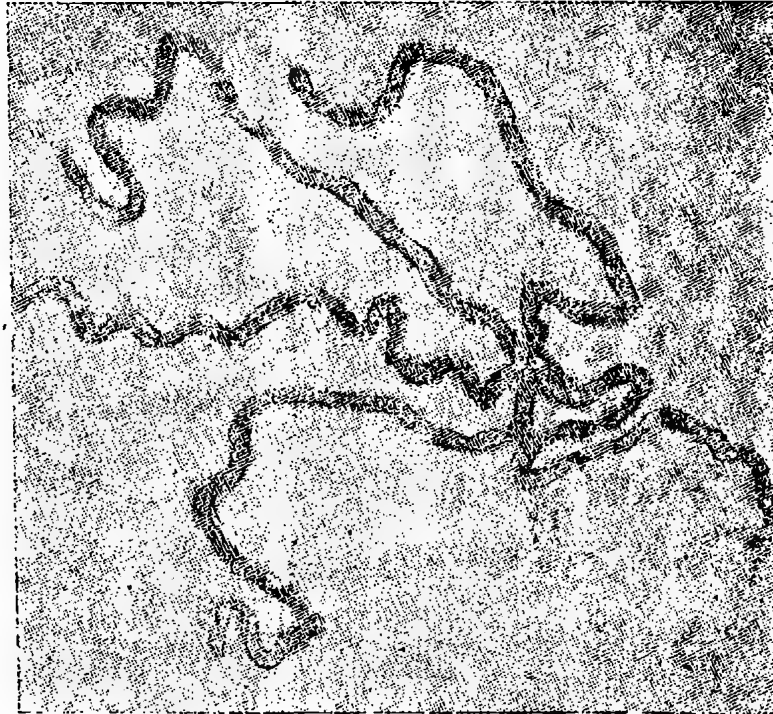
عدد الصبغيات في عدة كائنات — من إنسان وحيزان ونبات — حيث تمثل المجموعة الثنائية بالرمز (٢ن) والمجموعة الأحادية بالرمز (ن) ، ويبدل الرمز الأخير أيضاً على عدد الصبغيات المتماثلة (Homologous chromosomes) .

الكائن	(٢ ن)	(عدد أزواج الصبغيات المتماثلة)
الإنسان	٤٦	٢٣
الأرنب	٤٤	٢٢
الفأر	٤٠	٢٠
ذبابة الفاكهة	٨	٤
دودة الاسكاريس	٤	٢
الذرة	٢٠	١٠
البسلة	١٤	٧
الفول	١٢	٦

وإذا فحصنا الصبغيات في المراحل الأولى للانقسام الميوزى للنواة بقوة أكثر تكبيراً لاستطعنا أن نكتن فيها بعض حبيبات أدكن مما يجاورها

اصطباغاً . وهى كالعمد تنتظم على مدى طول الصبغى ، وتعرف هذه الحبيبات باسم الجسيمات الصبغية (Chromomeres) . وبعض هذه الجسيمات تكون غليظة إلى حد ما وكثيرة العناقيد . أما البعض الآخر فيكون أرفع وأقل تراحماً . ولا تنتظم الجسيمات الصبغية على أبعاد متساوية بل تتباين بينها المسافات . ومن اليسير مشاهدة هذه الجسيمات أثناء الطور التمهيدي الأول (First prophase) لانقسام النواة . حيث تكون الصبغيات خيوطاً طويلة ورفيعة للغاية (شكل ٣٩٩) . وتنتظم على الجسيمات الصبغية الوحدات الوراثةية — أو الجينات (Genes) — التى تتكون كيميائياً من نيوكليوتيدات (Nucleo- tides) . وتمثل الجينات الأداة الوحيدة للوراثة وانتقال العوامل الوراثةية من الآباء إلى الأبناء ، وهى تتكون من جزيئات منفردة أو من مجموعة صغيرة من الجزيئات .

(شكل ٣٩٩)



صورة فونوغرافية لصبغيات خلية من خلايا الندة الدماكية لذبابة الفاكهة ، وتبين انتظام أشرطة غليظة وراثة على الصبغى . وهذه الأشرطة — التى يربط موقعها بمواقع الوحدات الوراثةية أو الجينات (Genes) متمثلة فى جميع النسيب المتشابه وراثياً .

وتدين نظرية الجين (Gene Theory) بوجودها إلى عالم الوراثة الأمريكي توماس ه. مورجان (Thomas H. Morgan) ، نتيجة لما أجراه من بحوث مستفيضة على ذبابة الفاكهة ، واستطاع أن يحدد ما يقرب من ٤٠٠ صفة متطفرة في هذه الذبابة بالذات ، وأن يبين أن الجينات — الحاملة أو الموجهة لتلك الصفات — يمكن أن ترتبط في أربع مجموعات ، تقابل أربعة أزواج من الصبغيات المتماثلة في الخلايا الجرثومية لهذا النوع من الذباب ، ونجح مورجان ومعاونوه في تحديد مواقع الجينات على الصبغيات ، وأظهرت تجاربهم إمكان عبور الجينات من صبغى ما إلى الصبغى المماثل له ، وأن الجينات المرتبطة مع بعضها البعض توجد على نفس الزوج من الصبغيات المتماثلة ، وأن مادة الصبغى هي التى تربط ما بين تلك الجينات .

وقد ثبت عملياً أن كثيراً من جينات الصفات المتوارثة ترتبط ارتباطاً وثيقاً بصبغيات معينة ، بل بأجزاء خاصة من الصبغى ، ويكون كل جين مسؤولاً عن إظهار صفة وراثية ما ، ومن ثم فيمكن تعريف الجين بأنه دقيقة مادية لها القدرة على نقل صفة ما أو توجيه خصائصها من الجيل الحامل لها إلى ما يليه من أجيال .

وتختلف الجسيمات الصبغية فيما بينها — حجماً وشكلاً وترتيباً — على نفس الصبغى . ويسيطر كل جين على صفة وراثية خاصة ، فمن الجينات ما تؤثر على الأطوال ومنها ما تؤثر على الألوان . ومنها ما تؤثر على عمليات فسيولوجية أو حيوية تقوم بها الكائنات . ولما كانت الصبغيات — فى كل نواة — توجد فى أزواج متماثلة فمن الطبيعى أن كل صبغين متماثلين يحتويان على نفس العدد من الجينات المنظومة بنفس الترتيب . وتقع الجينات ذات الأحجام والأشكال المتشابهة فى المواقع المتقابلة للصبغين المتماثلين (شكل ٤٠٠) .

ويوجد فى كل كائن حى نوعان من الخلايا :

- ١ — خلايا جسمية (Somatic cells) : هى الخلايا الموجودة فى جميع جسد الكائن والمسئولة عن تكوين الصفات .

(٢) خلايا جرثومية (Germ cells) :

(شكل ٤٠٠)



صبغيان متماثلان من صبغيات ذبابة الفاكهة ، متصلان على اليسار ومنفصلان على اليمين ، لتباين تشابه الجسيمات الصبغية عند المواضع المقابلة (عن شول) .

هي الخلايا التي يقتصر جودها على أعضاء خاصة من الجسد ، تعرف بالأعضاء التناسلية . وهي المسئولة عن انتقال الصفات من الآباء إلى الأبناء .

وتبدأ حياة كل كائن حي بخلية واحدة هي اللاقحة (Zygote) . وهي نتيجة التزاوج بين مشيج ذكري وآخر أنثوي . وتنقسم اللاقحة وتتكاثر فلاياها عدة مرات لتكوين خلايا الجسد البالغ . وفي هذا النوع من الانقسام تقسم كل صبغى طولياً إلى نصفين (Chromatids) وتنفصل كل مجموعة من الأخرى . وبذلك تحتوى كل خلية جسدية على نفس عدد الصبغيات الموجودة في اللاقحة الأصلية . ويعرف هذا النوع من الانقسام — الذى يرى فيه تنصيف الصبغيات — بالانقسام غير المباشر أو الفتيلي (Mitosis) . قد سبق شرحه بالتفصيل في الباب الخاص بانقسام الخلية .

أما في الخلايا التناسلية — وتتمثل في النباتات بالخلايا الوالدة لحبوب اللقاح و البويضات وفي الحيوانات بخلايا المبايض والخصى المنتجة للبويضات و للحيوانات المنوية — فإن الصبغيات تجتمع عند الانقسام في أزواج صبغية متماثلة . ويتخذ كل صبغى مماثل طريقه في اتجاه مضاد لاتجاه الصبغى الآخر بذلك يحتوى كل مشيج على نصف عدد الصبغيات الموجودة عادة في الخلية لجسدية أو الخلية التناسلية الوالدة . ويعرف هذا النوع من الانقسام النووي الانقسام الاختزالي (Meiosis) . وسنتحدث عنه فيما يلي بالتفصيل .

الانقسام الاختزالي

ذكرنا في الجدول السابق (جدول ٣٦) أن كل نواة من أنوية الخلايا

الجسدية في الإنسان تحتوي على ستة وأربعين صبغياً ، ويمثل هذا العدد المجموعة الثنائية (٢ ن) للصبغيات ، وأن هذه الصبغيات تتميز إلى مجموعتين متماثلتين ، كل مجموعة تتكون من ثلاثة وعشرين صبغياً ، ويمثل العدد الأخير المجموعة الأحادية (ن) للصبغيات . ولا بد لإتمام دورة حياة الإنسان من وجود نوع مميز من الانقسام النووي لتتصيف عدد الصبغيات أثناء تكوين الأمشاج الجنسية من الخلايا التناسلية . إذ أن الخلايا الأخيرة — مثلها كمثل غيرها من الخلايا الجسدية في الإنسان — ثنائية المجموعة الصبغية (Diploid) . ويعرف هذا النوع من الانقسام النووي الذي يعمل على تنصيف عدد الصبغيات حين تكوين الأمشاج بالانقسام الاختزالي (Meiosis) ، بحيث يكون كل مشيج أحادي المجموعة الصبغية (Haploid) . حتى إذ حدث التزاوج فيما بعد باندهاج مشيجين . أحدهما ذكري (حيوان منوي) والآخر أنثوي (بيضة) . كانت نواة اللاقحة — الناتجة من اندماج نواتي المشيجين — ثنائية المجموعة الصبغية ، حتى إذا ما واصلت اللاقحة الانقسام فيما بعد لتكوين الجنين كانت كل خلية جسدية ثنائية المجموعة الصبغية :

أما في النباتات فيحدث الانقسام الاختزالي عند تكوين الجراثيم في الأرشيجونيات . وهي التي تعرف بحبوب اللقاح والخلايا البيضية في البذريرات ، فالخلايا الوالدة للجراثيم — مثلها كمثل الخلايا الجسدية في النبات الجرثومي — ثنائية المجموعة الصبغية . وينتج عن الانقسام الاختزالي أثناء تكوين الجراثيم احتواء كل جرثومة ناتجة على نصف عدد الصبغيات الموجودة في الخلية الجسدية أو الخلية الوالدة الجرثومية . ولما كانت الجراثيم تثبت لتعطي النباتات المشيجية التي تنتج بدورها الأمشاج . فتكون الأخيرة بذلك أحادية المجموعة الصبغية . بحيث إذا حدث تزاوج بين مشيجين مختلفي الجنس احتوت اللاقحة على نفس عدد الصبغيات الموجودة في الخلية الجسدية ، وتنقسم اللاقحة بدورها انقساماً ميتوزياً عادياً لتعطي النبات الجرثومي ثنائي المجموعة الصبغية .

خطوات الانقسام الاختزالي :

ويشمل الانقسام الاختزالي انقسامين متتاليين ، الانقسام الأول — ويعرف أيضاً بالانقسام الميوزي الأول (First meiotic division) — وفيه تحتوي كل نواة من النواتين الناتجتين على نصف عدد الصبغيات الموجودة في النواة الأصلية ، ولا تستقر النواتان الناتجتان في طور سكون ، بل لا تلبث كل منهما أن تبدأ انقساماً تالياً يعرف بالانقسام الثاني ويعرف أيضاً بالانقسام الميوزي الثاني (Second meiotic division) ، وفيه تنقسم كل نواة ناتجة إلى نواتين بطريقة مماثلة تماماً لما يحدث في الانقسام الميوزي العادي ، وبذلك تنقسم كل نواة أصلية ثنائية المجموعة الصبغية إلى أربع أنوية أحادية المجموعة الصبغية كما هو مبين في الخطوات الآتية :

(أولاً) الانقسام الأول :

(١) الطور التمهيدي الأول (First prophase) : ويمثل هذا الطور نظيره في الانقسام الفتيلي ، ولكنه يختلف عنه من حيث بقائه لفترة أطول عند الابتداء ومن حيث أن الصبغيات لا تبدأ أي ازدواج ، والنواة الأصلية تكون ثنائية المجموعة الصبغية ، بمعنى احتوائها على مجموعتين متماثلتين من الصبغيات ثم تمر الصبغيات بالمراحل التالية :

(١) المرحلة القلادية أو اللبتوتين (Leptotene) : وفيها تبدو الصبغيات كمخيوط طويلة للغاية ورقيقة (شكل ٤٠١ : ١) ، تنتظم عليها انتفاخات مختلفة الأحجام ، فيشبه كل صبغى بذلك قلادة مرصعة بالكروموميرات (Chromomeres) .

(ب) المرحلة الإزدواجية أو الزايجوتين (Zygotene) : وفيها يأخذ كل صبغى في التزاوج بالصبغى المماثل له (شكل ٤٠١ : ٢) .

(ج) المرحلة الضامة أو الباكيتين (Pachytene) : وفيها يلتف كل صبغى حول الصبغى المماثل له (شكل ٤٠١ : ٣) .

(د) المرحلة الانفراجية أو الديبلوتين (Diplotenc) : وفيها ينقسم كل صبغى مماثل إلى نصفي صبغى (Chromatids) ، كما في شكل (٤٠١ : ٤) ، ويحدث الانفراج بين نصفي أحد الصبغين من جهة ونصف الصبغى المماثل له من جهة أخرى ، ويصل هذا الانفراج إلى ذروته في هذه المرحلة ، وتأخذ الصبغيات في التقلص حجماً وازدياد سمكاً .

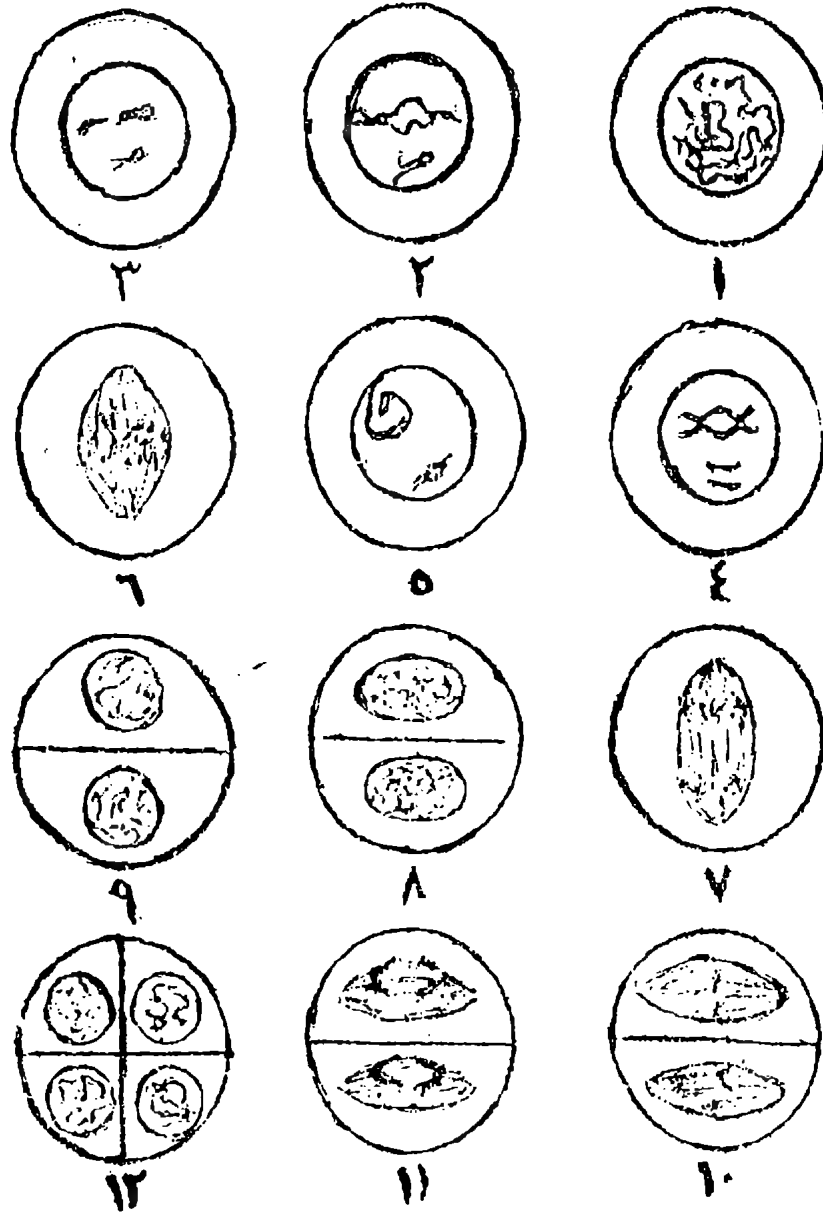
(هـ) المرحلة التشيتية أو الدياكاينيسس (Diakinesis) : وفيها يزداد قصر وسمك الثنائيات الصبغية المتماثلة ، وتظهر منتشرة في تجويف النواة ، وتتصل صبغيات كل ثنائي بتصالب طرفي بينما تختفي التصالبات الأخرى غير الطرفية (شكل ٤٠١ : ٥) .

٢ — الطور الاستوائى الأول (First metaphase) : تختفي النوية والغشاء النووي ، وتحرر الصبغيات من داخل النواة لتنتشر في الخلية ذاتها . ثم تتكون الخيوط المغزلية — المنبعثة من كل قطب — وتصطف المثنى الصبغية المتماثلة (Bivalents) في المستوى الاستوائى للخلية (شكل ٤٠١ : ٦) ويتكون كل مثنى صبغى من صبغين متماثلين أو أربعة أنصاف صبغية ، (Chromatids) ويربط كل نصفي صبغى متماثل سنتروميير (Centromere) ، ومن الطبيعى أن عدد المثنى الصبغية المتماثلة يساوى نصف عدد الصبغيات في الخلية .

٣ — الطور الانفصالى الأول (First anaphase) : يأخذ صبغياً كل مثنى صبغى في التحرك في اتجاهين متضادين ، كل نحو قطب من قطبي الخلية : تشده الخيوط المغزلية في منطقة السنتروميير (٤٠١ : ٧) . وبذلك يستقبل كل من قطبي المغزل صبغياً متماثلاً واحداً من كل مثنى صبغى ، أى يستقبل نصف عدد الصبغيات الموجودة في الخلية الأصلية .

٤ — الطور النهائى الأول (First telophase) : يتكون غشاء نووى حول كل قطب . فتنج بذلك نواتان بنويتان (شكل ٤٠١ : ٨) تحتوى كل منهما على نصف عدد الصبغيات الموجودة في الخلية الأصلية .

(شكل ٤٠١)



الاقسام الاخرى في النباتات : (١ — ٥) خطوات الطور التمهيدى الأول لتبيان المراحل الفلادية والارذواجية والصامة والانفراجية والتشعبية ، (٦) الطور الاستوائى الاول ، (٧) الطور الاتصال الأول ، (٨) الطور النهائى الأول ، (٩) الطور التمهيدى الثانى ، (١٠) الطور الاستوائى الثانى ، (١١) الطور الاتصال الثانى ، (١٢) الطور النهائى الثانى .

(ثانياً) الانقسام الثانى :

تنقسم كل نواة بنوية إلى نواتين بطريقة مشابهة لما يحدث فى الانقسام الفتيلى العادى ، حسب الأطوار الآتية :

٥ — الطور التمهيدى الثانى (Second prophase) : تبدو الصبغيات مرة أخرى طويلة ورفيعة (شكل ٤٠١ : ٩) ولكن عددها يكون نصف العدد الموجود فى الطور التمهيدى الأول .

٦ — الطور الاستوائى الثانى (Second metaphase) : يتكون مغزلان فى مستويين عموديين — فى حالة تكوين حبوب اللقاح — على مستوى المغزل الذى تكون فى الطور الاستوائى الأول ، وتنظم صبغيات كل نواة فى المستوى الاستوائى لكل مغزل على حدة (شكل ٤٠١ : ١٠) .

٧ — الطور الانفصالى الثانى (Second anaphase) : ينفصل نصفا كل صبغى متماثل فى منطقة السنتروميير ، ويتحرك النصفان فى اتجاهين متضادين كل نحو قطب من قطبي الخلية (شكل ٤٠١ : ١١) .

٨ — الطور النهائى الثانى (Second telophase) : تتجمع عند كل قطب مجموعة من أنصاف الصبغيات المتماثلة ، لتصبح هى ذاتها صبغيات النواة الجديدة . ويحتوى كل قطب بذلك على نصف عدد الصبغيات الموجودة فى الخلية الجرثومية الأصلية ، ويتكون غشاء نووى (شكل ٤٠١ : ١٢) ، وبذلك تنقسم النواة الأصلية إلى أربع أنوية بنوية ، وتكون الأخيرة أنوية الأمشاج فى الحيوان أو أنوية حبوب اللقاح والبويضات فى النبات .

ويعرف العدد المختزل من الصبغيات — أو نصف عدد الصبغيات — فى الأمشاج أو الأبواغ أو حبوب اللقاح بالعدد المشيجى (Gametic number) ويقال للمشيج أو البوغ أو حبة اللقاح إنها « أحادية المجموعة الصبغية » ، (Haploid) . كما يعرف العدد المختزل من الصبغيات بعدد المجموعة الأحادية (Haploid number) ويرمز له عادة بالرمز (ن) ، أما عدد الصبغيات فى الخلية الجسدية — قبل الاختزال إلى النصف — فيعرف بالعدد الصبغى الجسدى

النظرية الصبغية

أماط اكتشاف المجهر — وما تبع ذلك من تقدم مستمر في علم الخلية (Cytology) — اللثام عن ماهية المادة الخلوية المستولة عن انتقال الصفات الوراثية من الأجداد والأباء إلى الأبناء والأحفاد ، إذ وجد أنه إذا صبغنا النواة بأحد الأصباغ التي تبرز تفاصيلها وتظهر مفرداتها ، فإنها لا تصطبغ جميعها بدرجة متساوية ، بل تتميز بداخلها بعض جزيئات دقيقة — تكون عادة مستطيلة — تلتهم الصبغ بشراهة أكثر مما عداها من أجزاء داخلية للنواة التي تكون عادة باهتة الاصطباغ ، ولذلك سميت هذه الجزيئات الشديدة الشراهة للأصباغ باسم الصبغيات أو الكروموسومات (Chromosomes) . ومعناه « الأجسام الملونة » وهذه الخاصية في الصبغيات تشبه تماماً خاصية الاصطباغ في مادة تعرف باسم الصبغين أو الكروماتين (Chromatin) . تحتوى على الحمض النووى (Nucleic acid) . ومن مميزات هذا الحمض احتفاظه بالألوان ذات الطبيعة الكيميائية القاعدية . ونواة الخلية — بما تحتوى بداخلها من صبغيات أو كروموسومات — هي المختصة بالوراثة . ويفصل النواة عن سيتوبلازم الخلية غشاء نووى ، توجد بداخله شبكة من مادة الصبغين وسائل نووى . كما قد يوجد بداخله أيضاً جسم كروى — أو جسمان — يسمى النوية (Nucleolus) . والنواة — والشبكة الصبغينية على وجه الخصوص — هي أهم جزء في الخلية من الوجهة الوراثية والحيوية . إذ تحمل الخيوط الصبغينية (Chromatin threads) الوحدات الوراثية التي تحدد العوامل التي يرثها الابن عن الأبوين . سواء أكان نباتاً أو حيواناً أو إنساناً . والشبكة الكروماتينية أو الصبغينية تمثل حالة النواة في طور السكون . أما في حالة انقسام الخلية فتتفصل الشبكة الصبغينية إلى عدد ثابت من أجسام عصبوية الشكل أو صبغيات . وكل كائن حي تحتوى نواة الخلية فيه — وتستوى في ذلك جميع الخلايا الجسدية — على عدد ثابت من الصبغيات ، إلا أن عددها يختلف باختلاف الكائنات ، حتى أنه كثيراً ما يمكن معرفة نوع النبات

أو الحيوان من عدد الصبغيات التي تظهر في النواة المنقسمة لأية خلية (جدول ٣٦) .

وتختلف الصبغيات — في نواة كل خلية — فيما بينها من حيث الشكل والحجم والترتيب ، إلا أنها توجد في أزواج مماثلة ، بمعنى أن لكل صبغى صبغياً مماثلاً (Homologous chromosome) ، فتوجد مثلاً في كل خلية من خلايا نبات القمح أربعة عشر صبغياً ، تنظم في سبعة أزواج من الصبغيات المتماثلة ، وفي ذبابة الفاكهة ثمانية صبغيات تنظم — من حيث التماثل — في أربعة أزواج ، وهكذا دواليك .

(جدول ٣٦)

عدد الصبغيات في عدة كائنات — من إنسان وحيوان ونبات — حيث تمثل المجموعة الثنائية بالرمز (٢ن) والمجموعة الأحادية بالرمز (ن) ، ويبدل الرمز الأخير أيضاً على عدد الصبغيات المتماثلة (Homologous chromosomes) .

الكائن	(٢ ن)	(عدد أزواج الصبغيات المتماثلة)
الإنسان	٤٦	٢٣
الأرنب	٤٤	٢٢
الفأر	٤٠	٢٠
ذبابة الفاكهة	٨	٤
دودة الاسكاريس	٤	٢
الذرة	٢٠	١٠
البسلة	١٤	٧
الفول	١٢	٦

وإذا فحصنا الصبغيات في المراحل الأولى للإنقسام الميوزى للنواة بقوة أكثر تكبيراً لاستطعنا أن ندين فيها بعض حبيبات أدكن مما يجاورها

(أ) أحجامها شبيهة بأحجام الفيروسات .

(ب) تركيبها الكيميائي من بروتينات نووية .

(ج) لها القدرة على التكاثر الذاتي إلى مالا نهاية .

تشابه وتباين اللواقح : في حالة تشابه اللاقحة — أو السلالة النقية — تشابه جميع الجينات المتقابلة في كل صبغيين مماثلين ، ولكن تختلف الجينات المتجاورة شكلاً وحجماً . فإذا رمزنا لهذه الجينات المتجاورة بالحروف (أ — ز) فيمكن تمثيل انتظامها على الصبغيين المماثلين كما يأتي :

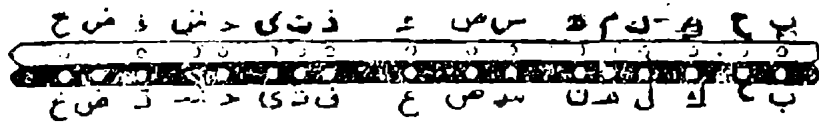
أص — بغي (← (أ) (ب) (ج) (د) (هـ) (و) (ز)

| — | — | — | — | — | — |

صبغي مماثل (← (أ) (ب) (ج) (د) (هـ) (و) (ز)

أما في حالة تباين اللاقحة — أو الهجين الأحادي (Monohybrid) فتوجد بعض الجينات في ثنائيات مماثلة وتوجد أخرى في ثنائيات متباينة التأثير (شكل ٤٠٣) .

(شكل ٤٠٣)



رسم تخطيطي لصبغيين مماثلين متباينين الالاقحة ، أحدهما أبوي والآخر أموي ، يبين مواضع الجينات المماثلة على امتداد طول الصبغيين (من شول) .

ففي الشكل توجد الجينات المتقابلة الآتية في ثنائيات مماثلة (ب ب) ، (ص ص) ، (ي ي) ، (ح ح) ، (ق ق) ، (ض ض) و (خ خ) ، وتكون الجينات المتقابلة المماثلة إما سائدة (ب ب مثلاً) وإما متنحية (ح ح مثلاً) . أما الجينات المتقابلة المتباينة التأثير فتتمثل في الأزواج الجينية الآتية : (ج ج) ، (ك ك) ، (ل ل) ، (م م) ، (ن ن) ، (س س) ، (ع ع) ، (ف ف) ، (ت ت) ، (ش ش) ، بمعنى أن الشق الأول من كل زوج جيني إذا كان يمثل صفة سائدة فإن الشق الثاني يدل على الصفة المتضادة المتنحية ، والعكس بالعكس .

الباب الثانى والأربعون

التطبيقات العملية للقوانين المندلية

لعل من أهم التطبيقات العملية لقوانين الوراثة المندلية ما وجد فى النباتات من أن قابليتها للإصابة بالأمراض الفطرية أو مناعتها ضد هذه الأمراض هما عاملان وراثيان يخضعان للقوانين المندلية . وأولى التجارب فى هذا المضمار ما قام به الأستاذ بيفين (Biffen) عام ١٩٠٥ من تهجين صنفين من نبات القمح ، أحدهما مقاوم لمرض الصدأ الأصفر — المسبب عن الفطر « باكسينيا جلومارام » (*Puccinia glumarum*) — والآخر قابل للإصابة به ، ووجد أن جميع أفراد الجيل الأول قابلة للإصابة بالمرض ، فقابلية الإصابة فى هذه الحالة صفة سائدة على المقاومة . فإذا ما حدث تهجين ذاتى بين أفراد الجيل الأول ، كان نتاج الجيل الثانى كالاتى : $\frac{3}{4}$ الأفراد قابلة للإصابة بالمرض والربع الباقى مقاوم للمرض ، وبذلك وضع بيفين أول خطوة لإثبات أن قابلية الإصابة أو المقاومة للمرض هما عاملان وراثيان يخضعان للقوانين المندلية .

وجاء من بعده ملشرس (Melchers) وغيره من علماء الوراثة فأثبتوا أن المقاومة لأمراض الأصداء أو القابلية للإصابة بها تتوقف على عامل أو أكثر من عوامل الوراثة المندلية ، وعند تهجين صنفين من القمح — أحدهما مقاوم لمرض الصدأ الأسود والآخر قابل للإصابة به — وجد أن مقاومة المرض هى الصفة السائدة والقابلية للإصابة به هى الصفة المتنحية . وكذلك وجد فى أصناف الكتان أن صفة المقاومة ضد مرض الصدأ تسود صفة القابلية للإصابة بالمرض .

وقد استطاع بيفين — باستغلاله للقوانين المندلية — أن ينتج صنفاً جديداً من القمح تتمثل فيه كل الصفات التجارية المرغوب فيها ، من حيث جودة

الصنف ووفرة المحصول والمناعة ضد أمراض الأصداء الفطرية . وقام من بعده مربو النباتات في كندا باستنباط صنف القمح المسمى « ماركيز » (Marquis) بتهجين النوع الذي كان شائعاً حينذاك - وهو « الرد فايف » (Red five) - بصنف هندي مبكر النضج يسمى « كلكتا أحمر » (Red calcuta) فنتج صنف ماركيز مماثل للردفايف من حيث جودة الصنف ووفرة المحصول ، وفي الوقت ذاته أكثر منه تبكيراً في النضج - وهي صنف مشتقة من « كلكتا أحمر » - بنحو أسبوع ، ولذلك حل « الماركيز » محل « الرد فايف » في جميع المناطق الزراعية التي كانت تميل لزراعة الصنف الأخير . وقد توالى من بعد ذلك التجارب التهجينية لزيادة التبكير في النضج من الماركيز ، مثل أصناف الروبي والبريليود والجارنييت وغيرها من الأصناف .

وقد يستعان بتهجين الأصناف البرية من بعض النباتات مع أصناف مزروعة تجارية - من نفس جنس النبات - إما تحسيناً للصنف أو لإنتاج سلالات جديدة مقاومة للأمراض ، ومن أمثلة ذلك ما وجد من أن معظم نباتات البطاطس المزروعة التجارية قابلة للإصابة بمرض اللفحة (Blight) - المسبب عن الفطرة « فيتوفثورا » (Phytophthora sp.) - بينما توجد أصناف من البطاطس تنمو برياً وتقاوم ذلك المرض . ولأصناف البطاطس البرية درنات رديئة لا يمكن استغلالها تجارياً . وعند تهجين أصناف البطاطس البرية رديئة الدرنات المقاومة للمرض بالأصناف المزروعة جيدة الدرنات والقابلة للإصابة بالمرض ، كان أفراد الجيل الأول جميعها جيدة الدرنات مقاومة للمرض . ففي هذه الحالة تسود صفة جودة الدرنات على رداءتها ومقاومة المرض على قابلية الإصابة به ، وتتوزع الصفات بين أفراد الجيل الثاني حسب القوانين المنديلية العادية ، مما يتيح الفرصة للمربين - بوساطة التلقيح الذاتي بين بعض أفراد الجيل الثاني النقية لصفتي جودة الدرنات ومقاومة المرض - لإنتاج سلالة جديدة تجمع بين الصفات التجارية المطلوبة والمقاومة للمرض .

الانتخاب الفردى فى النباتات

بعد ما استبانـت التطبيقات العملية للقوانين المندلية ظهرت الصلة الوثيقة بين طبيعة توارث الصفات ونظرية السلالة النقية (Pure line) لجوهانسن (Johannsen) ، وتقوم هذه النظرية على أساس أن النباتات إذا لقحت ذاتياً - وحافظ على عدم الخلط بينها مع دوام الانتخاب - نتج عنها أفراد متماثلة التركيب الوراثى ، ومن النقاوة بحيث لا يجدى فيها بعد ذلك استمرار الانتخاب ، وهذا هو الهدف الذى تصبو إليه أنظار المشتغلين بتربية النباتات .

ومن النتائج الهامة التى أدى إليها الانتخاب الفردى الوصول إلى إيجاد سلالات من القطن مقاومة لتأثير حشرة « الكلوريتا فاسياليـس » (Chlorita fascialis) ، وهى حشرة كانت تفتك فتكاً ذريعاً بنباتات القطن فى بعض الأقطار الأفريقية ، حتى كادت تقضى على زراعته التى أصبحت غير مربحة من الوجهة التجارية . ولكن ظهور نبات واحد مقاوم للإصابة بتلك الحشرة بين عدة نباتات شديدة القابلية للإصابة به لفت الأنظار ، وكان بمثابة نقطة تحول للتخلص من هذه الآفة الحشرية وازدهار زراعة الأقطان فى هذه الأقطار ، إذ عزل النبات ولفح تلقيحاً ذاتياً وتكررت زراعته لعدة سنوات ، فبرهن نتاجه على احتفاظه بصفة المقاومة للآفة الحشرية وثبوت ما به من صفات تجارية ، حتى أدى ذلك فى النهاية إلى إكثاره وإيجاد سلالة نقية منه تبوأ مركزاً ممتازاً لدى زراع الأقطان بتلك الاقطار .

وقد أمكن بتطبيق نظرية الانتخاب الفردى للنباتات - وإجراء التلقيح الذاتى فيما بينها - زيادة نسبة السكر فى البنجر ، ففى بنجر السكر الذى استمر فيه الانتخاب الفردى نحو مائة عام ارتفعت نسبة السكر من ٩ ٪ إلى حوالى ١٨ ٪ .

ويوجد بمصر مثالان يبرزان أهمية الانتخاب الفردى للنباتات واستغلال عمليات التهجين ، أحدهما بالنسبة للقمح والآخر بالنسبة للقطن . فقد أدت

تجارب الانتخاب الفردي بين نباتات القمح إلى انتخاب صنف (قمح بلدى ١١٦) من بين أصناف القمح البلدى (*Triticum pyramidale*) ، يمتاز بشدة مقاومته لأمراض الصدأ الأسود والتفخم مع وفرة المحصول .

أما في حالة القطن ، فقد أمكن — باستغلال عمليات التهجين والانتخاب الفردي للنباتات — إنتاج سلالات جديدة أوفر محصولاً من الأصناف المعروفة ، كما تمتاز عنها بقدرتها على مقاومة مرض الذبول المسبب عن أنواع من فطرة الفيوزاريوم (*Fusarium spp*) .

ولم تقتصر التطبيقات العملية للقوانين المندلية على تحسين أنسال النبات ، بل امتد نطاقها أيضاً ليشمل الحيوانات . فمن الصفات المرغوب فيها مثلاً عند المشتغلين بتربية الدواجن أن يكون حجم البيض في الدجاج كبيراً وأن يكون إنتاجه وفيراً ، فازدياد عدد البيض وحجمه صفتان بارزتان من الصفات التجارية المرغوب فيها ، كما توجد صفات أخرى يتطلبها المربي مثل كبر حجم الدجاج ومناعته ضد الأمراض ، ويلجأ المربون إلى تنمية هذه الصفات بالتهجين تارة وبالانتخاب تارة أخرى .

وقد استغلت قوانين الوراثة في الإقليم المصرى لتحسين أصناف الكثير من السلالات الحيوانية . فقد أمكن بتهجين الأبقار الفريزيان — المستوردة من الخارج — بالأبقار الدمياطية للحصول على هجن (Hybrids) تجمع بين ميزة الادرار العالى للبن كأبقار الفريزيان وبين احتمال ظروف البيئة المصرية كأبقار الدمياطية . وكان من نتائج تهجين النعاج الأوسيمية المصرية بكباش السافولك (Suffolk) والهامشير — وهى كباش مستوردة — زيادة كبيرة في سرعة النمو واختفاء الذنب وتوزيع الدهن خلال اللحم بدلا من تراكمه ، وهو ما يسمى باللحم المرمى ، وأصبحت أوزان الأغنام الخليط تزيد عن الأغنام الأوسيمية بنسبة ٤٠ ٪ في الستة شهور الأولى ، كما تضاعفت كمية الصوف وتحسن صنفه . وأمكن أيضاً إنتاج سلالات نقية وفيرة اللحم غزيرة البيض من الدجاج الفيومى والرومى والبط والأوز والأرانب .

ولم يقتصر تطبيق القوانين المندلية على النبات والحيوان فحسب ، بل تطالعت بعض الأمم إلى إمكان تطبيقها على الإنسان ، لإنتاج سلالة بشرية تجمع بين ذكاء العقول وجمال الأجسام . وكان من بين الاقتراحات لإنتاج هذه السلالة البشرية الممتازة اقتراح ما يعرف بالزواج الموجه (Directed marriage) ، الذى يمكن تلخيصه فى أن الزواج بين الأفراد لا يتم فقط نتيجة لنزعات الراغبين والراغبات ، بل تتحكم الدولة فيه بأن يترك للاخصائين الوراثيين من رجال الدولة دراسة الصفات العائلية الوراثية لكل من الزوجين قبل الارتباط ، كما يقومون بدراسات على مستوى الذكاء واكتمال الأجسام . فإن كانت نتائج هذه الدراسات تنبئ بإنتاج جيل قويم تم الزواج ، وإلا حالت دون إتمامه . ولكن لم يقدر للزواج الموجه النجاح بسبب استحالة التحكم فى العواطف البشرية ، وغاية ما تستطيع أن تقوم به بعض الحكومات هو تعقيم المشبوهين والمجرمين وذوى العاهات والأمراض المستعصية حتى يستطيعوا الزواج دون إنتاج أطفال ، لكى لا ينتجوا نسلا ضعيفاً مريضاً مشوهاً ناقص الذكاء .

وبجانب السيادة المشتركة الناتجة عن تداخل العوامل أو تفاعلها - كما هو مبين في حالتى نبات ثقب الليل والدجاج الأندلسى - توجد عوامل أخرى تسبب اختلال الطرز المظهرية - حسب القوانين المندلية - وهذه العوامل هى

(١) العوامل المكملّة (Complementary factors) .

(ب) العوامل المتفوقة أو فوق الاستاتيكية (Epistatic factors) .

(ج) العوامل المانعة (Inhibitory factors) .

(د) العوامل المزدوجة (Duplicate factors) .

(هـ) العوامل المميتة (Lethal factors) :

وسنتحدث عن كل واحدة من هذه العوامل على حدة .

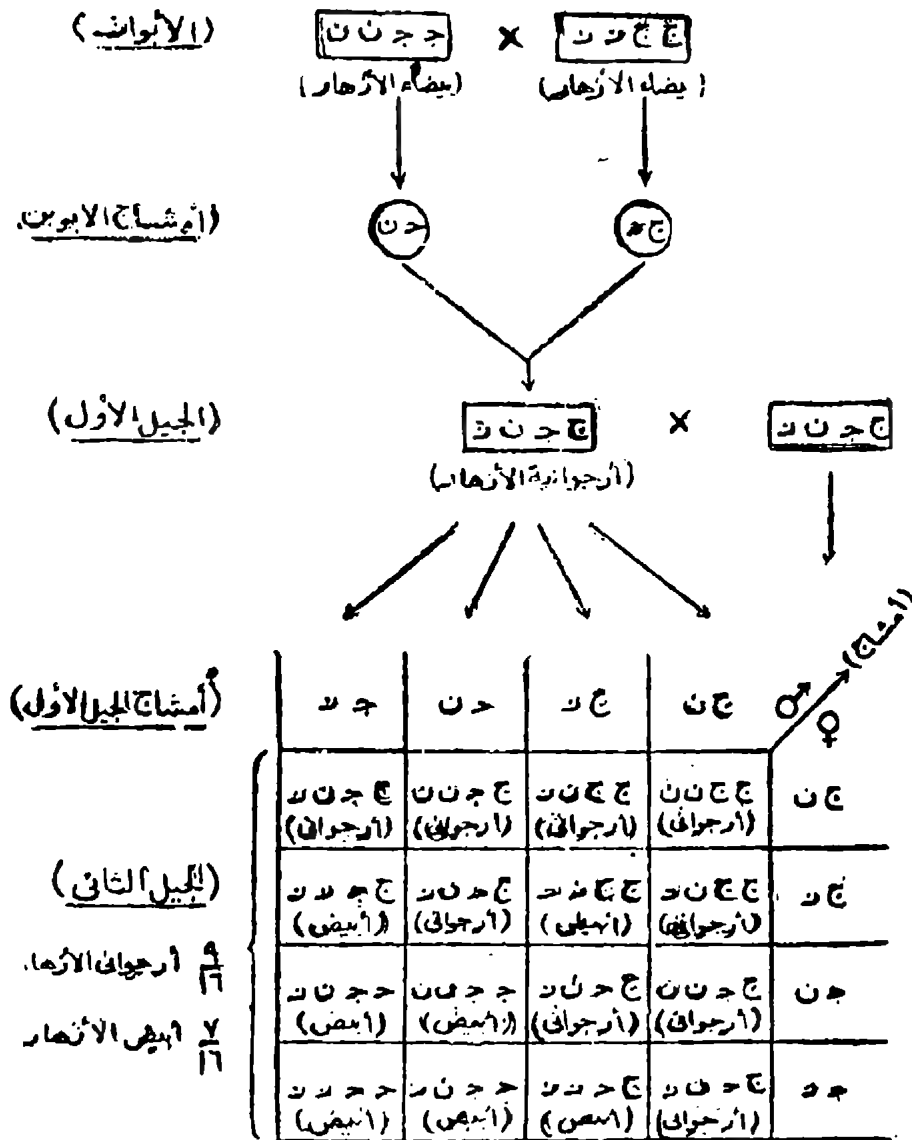
العوامل المكملّة :

يرجع اكتشاف تأثير العوامل المكملّة إلى التجارب التى قام بها العلامة باتيسون (Bateson) - عام ١٩٠٥ - على نبات البازلاء ، حيث ميز بين صنفين من هذا النبات ، أحدهما يحمل أزهاراً بيضاء وحبوب لقاحه مستديرة ويحمل الآخر أزهاراً بيضاء أيضاً ولكن حبوب لقاحه مستطيلة . وعند التهجين بين الصنفين ظهرت جميع أفراد الجيل الأول أرجوانية الأزهار ، وظهرت نباتات الجيل الثانى أرجوانية وبيضاء بنسبة (٩ : ٧) ، ويستدل من مجموع الرقيين وهو (١٦) على وجود زوجين من الصفات المتضادة ، حول النسبة المعروفة (٩ : ٣ : ٣ : ١) إلى (٩ : ٧) .

وقد افترض لتفسير ذلك أن اللون الأرجوانى ناتج عن التفاعل بين عاملين مكملين سائدين ، ولنرمز لأحدهما بالرمز (ج) وللآخر بالرمز (ن) ، والعاملان المتنحيان لهما على التوالى (ج) و (ن) فالأبوان (شكل ٤٠٦) ذو الأزهار البيضاء يحتوى كل منهما على عامل سائد واحد (ج ج أو ن ن) . أما أفراد الجيل الأول - وتركيبها الوراثى (ج ج ن ن) - فتكون أرجوانية الأزهار لتفاعل العاملين السائدين ووجودهما معاً ، ومن ثم فتكون نسبة

الطرز المظهرية لأفراد الجيل الثاني هي : (٩ نباتات أرجوانية الأزهار :
٧ نباتات بيضاء الأزهار) كما هو مبين بالرقعة الشطرنجية من الشكل .

(شكل ٤٠٦)

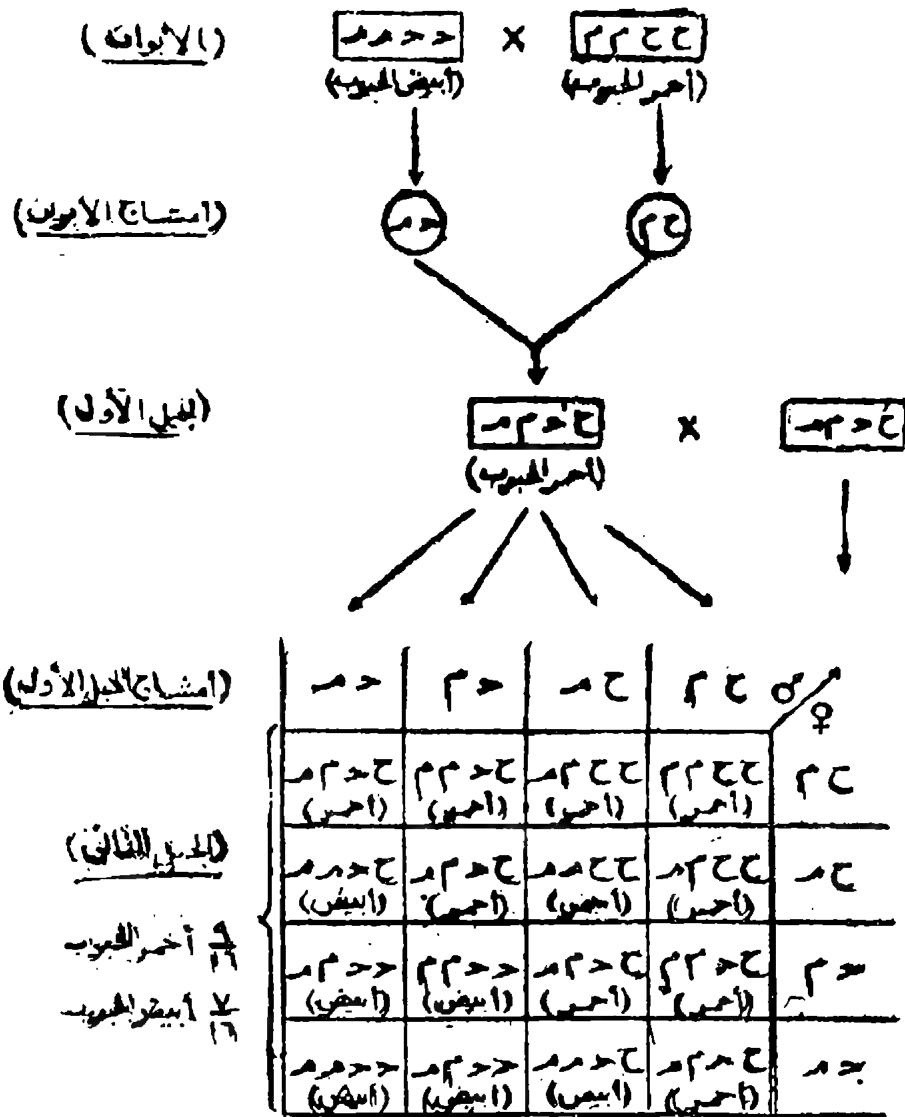


رقعة شطرنجية تبين نسبة (٩ : ٧) بين أفراد الجيل الثاني نتيجة وجود عاملين مكملين لإنتاج اللون الأرجواني في نبات البازلاء .

وقد حصل العلامة إيست (East) على النسبة ذاتها عند التهجين بين نبات ذرة أحمر الحبوب وآخر أبيض الحبوب ، فظهرت نباتات الجيل الأول جميعها حمراء الحبوب ، وعلى ذلك أصبح مترقباً للحصول في الجيل الثاني

على النسبة المعتادة وهى : (٣ نباتات حمراء الجيوب : ١ نبات أبيض الجيوب) . ولكن النسبة الفعلية التى ظهرت كانت (٩ نباتات حمراء الجيوب : ٧ نباتات بيضاء الجيوب) ، ولا تتفق هذه النسبة فى ظاهرها مع قوانين مندل . كما أنها تدل على وجود زوجين من الصفات المتضادة . ولكن عند افتراض احمرار الجيوب نتيجة وجود عاملين سائدين مكملين ظهرت مطابقة النسبة الأخيرة لقوانين مندل ، فإذا رمزنا للعاملين المكملين السائدين لإظهار احمرار الجيوب بالرمزين (ح) و (م) - كما فى شكل (٤٠٧) - والعاملين المتنحيين لهما بالرمزين : (ح) و (م) على التوالى فإن الأب أحمر الجيوب

(شكل ٤٠٧)



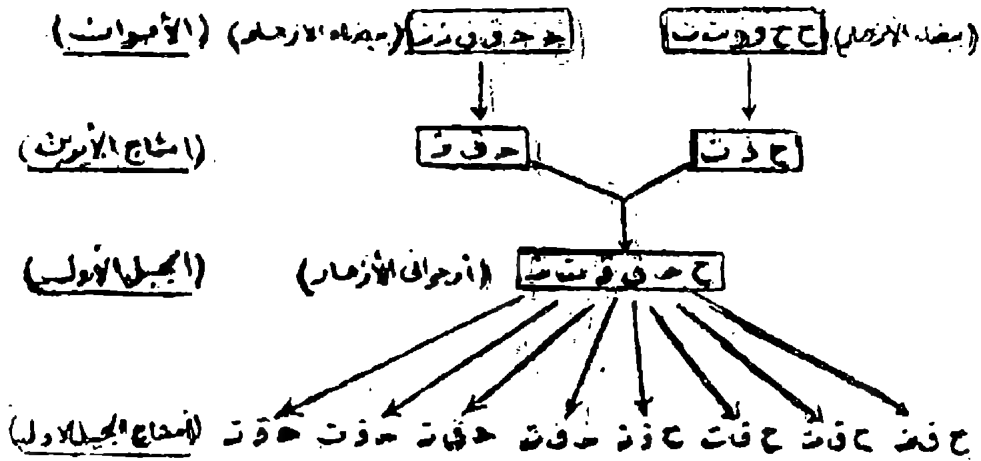
العوامل المكملة كما تظهر عند التهجين بين نبات ذرة أحمر الجيوب وآخر أبيض الجيوب .

يكون تركيبه الوراثي (ح ح م م) ، وهو أحمر الجيوب لوجود العاملين السائدين وتفاعلهما معاً . أما الأب الآخر فيكون أبيض الجيوب لغيابهما وتركيبه الوراثي هو (ح ح م م) . أما أفراد الجيل الأول - وتركيبها الوراثي (ح ح م م) - فتكون حمراء الجيوب بسبب وجود العاملين المكملين معاً . وتكون نسبة أفراد الجيل الثاني حمراء الجيوب إلى الأفراد بيضاء الجيوب هي (٩ : ٧) ، كما هو مبين بالرقعة الشطرنجية من الشكل .

العوامل المتفوقة :

وجد في بعض النباتات أن التهجين بين أبوين يحمل كل منهما أزهاراً بيضاء ، ينتج عنه جيل أول من أفراد جميعها أرجوانية الأزهار . فإذا حدث تلقيح ذاتي بين أفراد الجيل الأول نتجت النسب الآتية من الطرز المظهرية لأفراد الجيل الثاني (شكل ٤٠٨) .

(شكل ٤٠٨ : ١)



تأثير العوامل فوق الاستاتيكية على الصفة الناتجة من تفاعل العاملين المكملين (ح) و (ق) ، الذي ينتج عن وجودهما معاً إنتاج أزهار حمراء ، ما لم يوجد عامل فوق استاتيكي سائد - رمز له بالرمز (ت) - يعمل على تحويل اللون الأحمر إلى لون أرجواني . ويرى (أ) نتيجة التزاوج بين أبوين يحملان أزهاراً بيضاء ، وتكون جميع أفراد الجيل الأول أرجوانية الأزهار لوجود العاملين المكملين (ح) و (ق) مع العامل فوق الاستاتيكي (ت) كما ترى أيضاً الأمشاج المكونة من الجيل الأول وترى في (ب) راء شطرنجية تبين باختلاف الطرز المظهرية والميضية لأفراد الجيل الثاني (و الصفحة التالية)

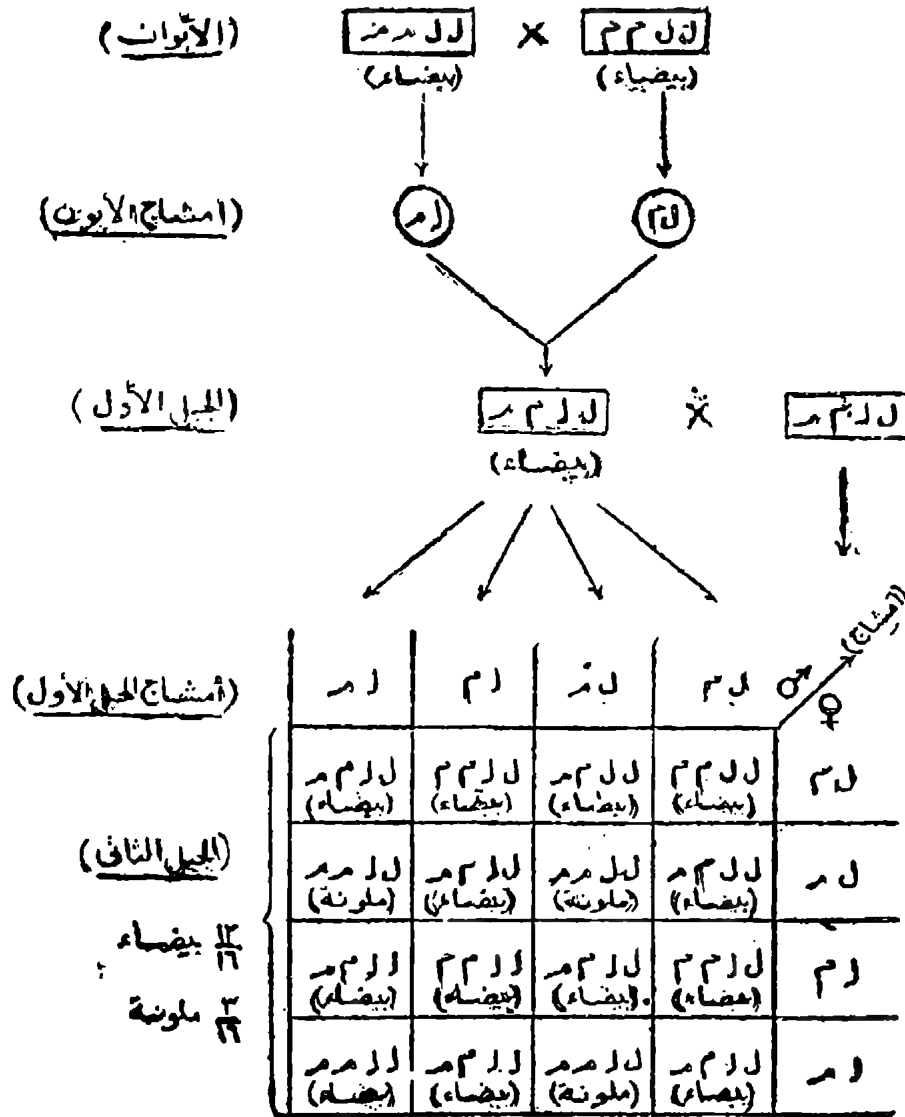
النسبة	الصفات
٢٧	أرجوانية الأزهار
٩	حمراء الأزهار
٢٨	بيضاء الأزهار

ولما كان مجموع هذه النسب (٦٤) ، مما يوحي بوجود ثلاثة أزواج من العوامل الوراثية المتضادة ، فقد افترض أن صفة احمرار الأزهار تحدث نتيجة تفاعل العاملين المكملين (ح) و(ق) ، وأن منع اللون الأحمر من الظهور—وتحويله إلى اللون الأرجواني — مسبب عن وجود عامل متفوق سائد رمز له بالرمز (ت) ، ويرمز للعوامل المتضادة بالرموز الآتية (ح) ، (ق) ، (ت) ، ومن ثم فيكون أحد الأبوين أبيض الأزهار لأنه يحمل أحد العاملين المكملين في حالة سائدة والآخر في حالة متنحية والعامل المحور سائدا (ح ح ق ق ت ت) ، ويكون الأب الآخر أبيض الأزهار لأنه يحمل الصفات المتضادة (ح ح ق ق ت ت). وهكذا تكون أفراد الجيل الأول (ح ح ق ق ت ت) أرجوانية الأزهار لتحويل اللون الأحمر — الناتج من تفاعل العاملين المكملين السائدين — في وجود العامل المتفوق سائدا .

ولما كانت الأزواج الثلاثة من العوامل المتضادة موجودة في ثلاثة أزواج صبغية متماثلة فهي تنوزع توزيعاً مستقلاً عند تكوين الأمشاج ، وترى في الرقعة الشطرنجية (شكل ٤٠٨ : ب) مختلف الطرز المظهرية والجبينية لأفراد الجيل الثاني . فإذا اجتمع العاملان المكملان السائدان مع تنحية العامل المحور للاحمرار كانت الأزهار حمراء ، أما إذا اجتمع العاملان المكملان السائدان مصحوبين بالعامل المحور السائد كانت الأزهار أرجوانية اللون . أما فيما عدا ذلك من أحوال فتكون الأزهار بيضاء . ويعرف العامل المحور بالعامل المتفوق أما الصفة التي تحورت استجابة له — وهي في هذه الحالة صفة الاحمرار — فتعرف بالصفة المتفوق عليها أو تحت الاستاتيكية (Hypostatic) .

العوامل المانعة :

العامل المانع هو عامل سائد يحول دون إبراز تأثير آخر . ففي الدجاج وجد عند التهجين بين صنفين - كل منها أبيض اللون - أن جميع أفراد الجيل الأول بيضاء ، أما الجيل الثاني فتكون نسب الطرز المظهرية بين أفرادها كالآتي (١٣ بيضاء : ٣ ملونة) ، كما هو مبين في (شكل ٤٠٩) وافترض لتفسير ذلك وجود زوجين من العوامل المتضادة ، بسبب أن مجموع النسب يساوي (شكل ٤٠٩)



تأثير العامل المانع (م) على إبراز عامل اللون (ل) ، حيث يحول وجود العامل المانع دون ظهور اللون في الدجاج

(١٦) . فإذا رمز للعامل السائد المسبب لإحداث اللون بالرمز (ل) والعامل المتنحي له بالرمز (ل) ، وللعامل المانع السائد بالرمز (م) والمتنحي له بالرمز (م) ، فيكون أحد الأبوين أبيض اللون لاجتماع العاملين السائدين (ل) و (م) ويكون تركيبه الوراثي (ل ل م م) . ويكون الآخر أبيض اللون أيضاً لاجتماع العوامل المتضادة المتنحية (ل ل م م) . أما أفراد الجيل الأول (ل ل م م) فتكون بيضاء لاجتماع العاملين السائدين لإبراز ومنع اللون . وتتوزع الأمشاج من أفراد الجيل الأول توزيعاً مستقلاً وينتج عن التلقيح فيما بينها الطرز المظهرية والجينية المختلفة لأفراد الجيل الثاني ، كما هو مبين بالرقعة الشطرنجية من الشكل .

العوامل المزدوجة :

نجد في بعض الحالات أن هناك زوجين من العوامل المتضادة ، كل زوج ينتظم على مثني صبغي متماثل مستقل ، إلا أن كل زوج من هذه العوامل المتضادة يؤثر بنفس الطريقة من حيث سيادة صفة ما أو تنحيها ، فإذا فرضنا أن هناك زوجين من العوامل المتضادة . ولنرمز لأحدهما مثلاً بالرمز (ب ب) وللآخر بالرمز (ج ج) فإن العامل (ب) يسود العامل المتضاد (ب) ، كما يسود العامل (ج) - الذي يؤثر على صفة ما بنفس الطريقة التي يؤثر بها العامل (ب) - على العامل « (ج) المتماثل لتأثيره للعامل المتنحي (ب) » ، وتعرف مثل هذه العوامل بالعوامل المزدوجة .

ولنضرب لذلك مثلاً نبات كيس الراعي ، الذي يوجد منه نوعان مميزان أحدهما يعرف علمياً باسم (Capsella pursa pastoris) وثماره مثلثة الشكل والآخر يعرف علمياً باسم (Capsella Heegeri) وثماره بيضاوية الشكل . وعند التهجين بين النوعين وجد أن جميع أفراد الجيل الأول مثلثة الثمار (شكل ٤١٠) ، أي أن الشكل المثلث الثمار يسود الشكل البيضاوي . وعند التهجين الذاتي بين أفراد الجيل الأول نتجت أفراد الجيل الثاني بنسبة : (١٥ مثلية الثمار : ١ بيضاوية الثمار) ، مما يدل على وجود زوجين من العوامل

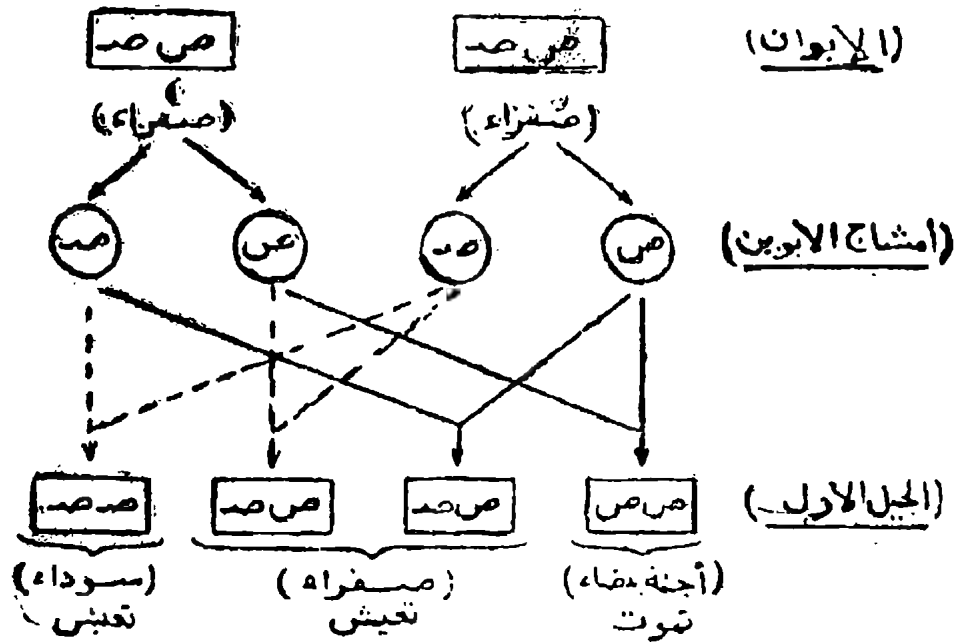
من ثم يكون التركيب الوراثي للأب مثلث الثمار هو (٢م ٢م ١م ١م) ،
ما بيضاوى الثمار فيكون تركيبه (٢م ٢م ١م ١م) ، وتكون أفراد الجيل
لأول جميعها مثلثة الثمار (٢م ٢م ١م ١م) . وتتوزع هذه العوامل توزيعاً
مستقلاً عند تكوين أمشاج الجيل الأول ، وتنتج أفراد الجيل الثانى بنسبة :
١٥ : مثلثة الثمار : ١ : بيضاوية الثمار (كما هو مبين بالرقعة الشطرنجية من
الشكل ، حيث تنتج الأفراد مثلثة الثمار إما عن وجود العاملين السائدتين
بمجمعين أو منفردين ، أما بيضاوية الثمار فلا تحدث إلا عند غياب العاملين
لسائدتين .

العوامل المميتة :

العوامل المميتة هى عوامل وراثية تؤثر تأثيراً مباشراً على حيوية
لكائنات ، إذ تحدث فى الكائن تغيرات خاصة توقف نموه وتسبب موته فى
مرحلة مبكرة من مراحل حياته ، ومن أمثلة ذلك ما وجد عند التهجين بين
نارين أصفرى اللون متباينى التركيب الوراثى (Heterozygous) ، تمثل فيهما سواد
اللون صفة متنحية للإصفرار ، فكان من المنتظر أن تكون نسبة الفئران
الصفراء إلى السوداء بين أفراد الجيل الأول هى (٣ صفراء : ١ سوداء)
حسب القانون الأول لمندل ، ولكن وجد أن النسبة الفعلية التى أمكن الحصول
عليها هى (٢ فئران صفراء اللون : ١ فئران سوداء اللون) . وأمكن تفسير
ذلك وراثياً على ضوء تأثير العوامل المميتة ، فإذا رمزنا للعامل الوراثى السائد
المسبب لاصفرار اللون بالرمز (ص) ، والعامل المتنحى المتضاد - والمسبب
لاسوداد اللون - بالرمز (صه) ، فإن التركيب الوراثى لكل من الأبوين
متباينى التركيب الوراثى يكون (ص صه) - كما هو مبين بالشكل (٤١١)-
وينتج كل أب نوعين من الأمشاج ، أحدهما (ص) والآخر (صه) .
ومن ثم فتوجد أفراد الجيل الأول بالنسب والطرز المظهرية والجينية الآتية :
(أ) (ص ص) ، وهى متشابهة التركيب الوراثى (Homozygous) صفراء
اللون ، إلا أن هذه الأفراد تموت وهى ما زالت أجنة فى البطون ، ولا تظهر
بين نتاج الجيل الأول . ومرد التأثير المميت فى مثل هذه الحالة اجتماع العاملين

السائدتين معاً مما يسبب موت الجنين . ومن ثم فلا يبدى العامل القاتل تأثيره إلا في الكائنات متشابهة التركيب الوراثي للجين السائد .

(شكل ٤١١)



تأثير العوامل الميثة كما يتمثل في نتيجة التزاوج فارين اصفر اللون متباين الالاقحة .

(ب) ٢ (ص ص) : وهي صفراء اللون ، وتعيش لأنها متباينة الالاقحة (Heterozygous) بالنسبة لعامل الاصفراء .

(ح) ١ (ص ص) : وهي سوداء اللون وتعيش لعدم وجود العاملين السائدين .

ومن ثم فتبدو نسب الجيل الأول - بسبب موت الأفراد الحاملة للعاملين السائدين للاصفراء (ص ص) في المرحلة الجينية - كالآتي : (٢ صفراء اللون : ١ سوداء) ، وتكون جميع الأفراد الصفراء في مثل هذه الحالة متباينة التركيب الوراثي .

الباب الرابع والأربعون

الوراثة والجنس

إذا كان كل كائن يتميز بعدد محدود من الصبغيات ، فهل تتساوى الصبغيات حجماً وشكلاً في الذكور والإناث ، أم أن هناك اختلافاً في شكل وحجم بعض الصبغيات في ذكر الكائن إذا قورن بأنثاه ؟ ... إننا إذا اتخذنا من ذبابة الفاكهة (*Drosophila*) ، مثلاً استطعنا دراسة كيفية توزيع الصبغيات وعلاقتها بالجنس ، ففي هذا النوع من الذباب - الذكور منه والإناث - توجد في كل خلية أربعة أزواج من الصبغيات المتماثلة (شكل ٤١٢) ، ثلاثة أزواج منها متشابهة تماماً في خلايا الذكور والإناث وزوج واحد فقط مختلف فيهما تمام الاختلاف ، إذ يتكون في الخلايا الأنثوية من صبغين متماثلين مستقيمين ، يرمز لهما بالرموز س س (XX) ، وفي الخلايا الذكرية من صبغين أحدهما مستقيم كالصبغي الجنسي لأنثوى ويرمز له بالرمز (س) ، ويتميز الآخر بانحنائه عند القمة ويرمز له بالرمز (ص) (Y) ، فالتركيب الوراثي للصبغين الجنسيين لخلايا الذكور هو (س ص)

(شكل ٤١٢)



الصبغيات كما ترى و خلية ذكر ذبابة الفاكهة : أ . و و خلية أنثاه : ب . و باعتبار
الصبغيات الجنسية و الذكر : س س . و فينشاهات و الأنثى : س ص .

(XY) . ووجد أن أجناس أفراد الجيل التالى ترتبط ارتباطاً وثيقاً بتوزيع هذين الصبغيين عند تكوين الأمشاج المتكونة من الأبوين . ومن ثم ففى ذبابة الفاكهة يمكن التمييز بين نوعين من الصبغيات .

١ - صبغيات متغايرة أو هتيروسومات (Heterosomes) : وتعرف أيضاً بالصبغيات الجنسية (Sex chromosomes) ، وهى التى تتصل بتوارث وتحديد الجنس . وتتمثل فى ذبابة الفاكهة بالصبغيين « س » و « ص » .

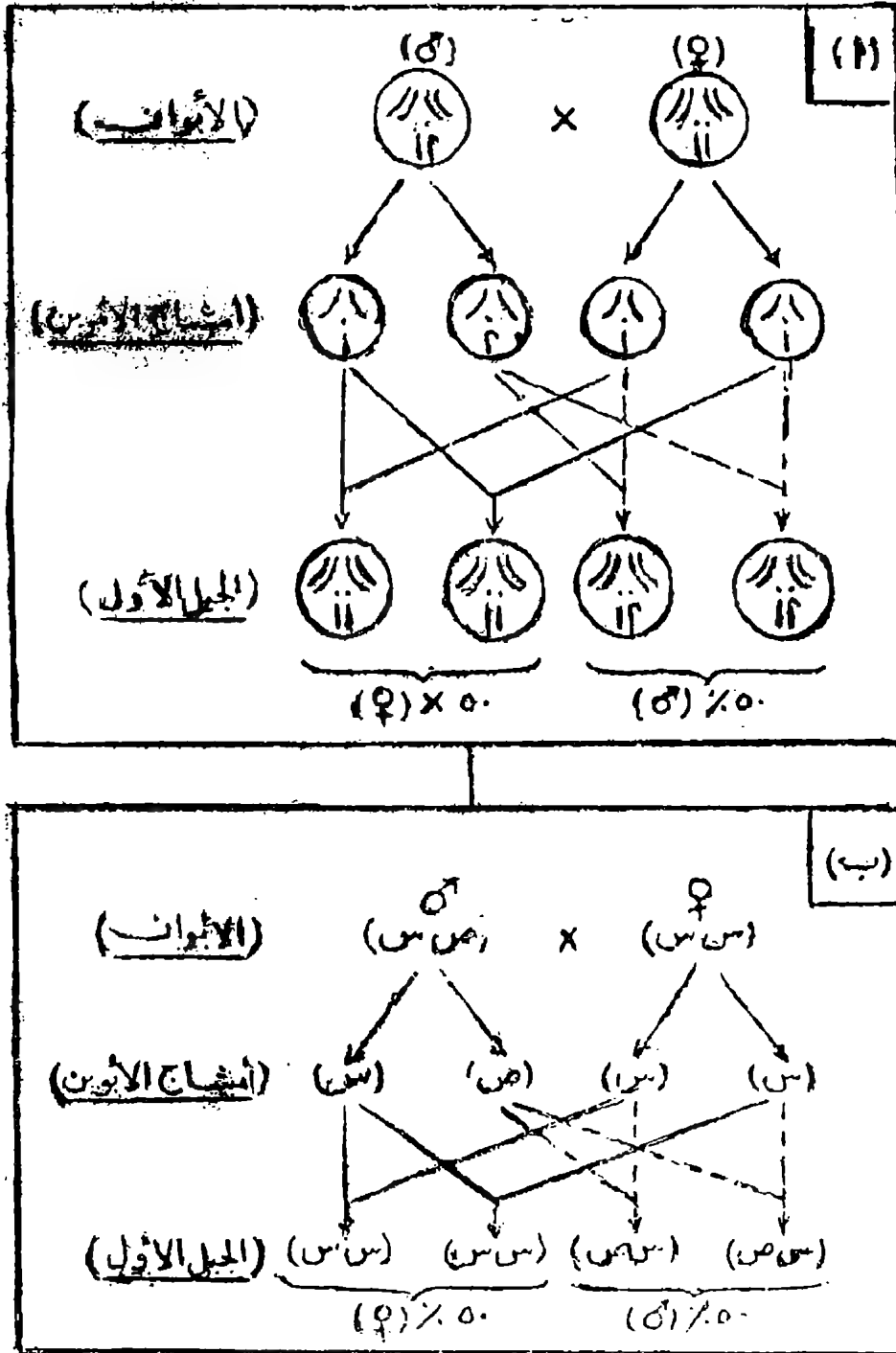
٢ - صبغيات ذاتية أو أتوسومات (Autosomes) : وهى التى لا تمت بصلة لتوارث الجنس ولكنها تتصل بتوارث الصفات الذاتية للفرد . وهى ممثلة بالأزواج الثلاثة الأخرى من الصبغيات المتماثلة .

وبين (شكل ٤١٣) التركيب الصبغى لأبوين من ذبابة الفاكهة . ففى الخلية الأنثوية - حيث يتشابه الصبغيان الجنسيان - يتكون طراز واحد من البيض تحمل كل واحدة منها الصبغى الجنسى (س) . أما الخلية الذكرية فتنتج طرازين من الأمشاج . أحدهما تركيبه الصبغى الجنسى (س) والآخر (ص) . فإذا حدث إخصاب بين بيضة (س) ومشيج ذكرى (س) كانت اللاقحة (س س) ، وكان الوليد أنثى . أما إذا حدث الإخصاب بين بيضة (س) ومشيج ذكرى (ص) كانت اللاقحة (س ص) ، وكان الوليد ذكراً .

ومما يشاهد أن الجنسين يظهران فى الجيل الأول بنسبة متساوية (٥٠ ٪ ذكور و ٥٠ ٪ إناث) . وكانت هذه الملاحظة بمثابة أولى الخطوات التى وجهت الأنظار - قبل استكشاف الصبغيات الجنسية - إلى احتمال أن أحد الجنسين غير نقي وسائد فى إحدى الصفات التى يفتقر إليها الجنس الآخر ، وأن وجود أو غياب هذا العامل يحدد جنس الجنين .

وتشبه حالة الإنسان - من حيث تميز الصبغيات الجنسية عن الصبغيات الذاتية - حالة ذباب الفاكهة . ففى الإنسان يوجد ثلاثة وعشرون زوجاً من

(شكل ٤١٣)



العلاقة بين توزيع الصبغيات المتغايرة وجنس (Sex) ذباب الفاكهة
ممثلة برسوم تخطيطية (أ) وبرموز (ب) وتبين كيفية توزيع الصبغيات في
الأبوين وفي الأمشاج الناتجة عنهما فيما ينتجان من أفراد الجيل التالي «الأول» .

الصبغيات ، تتشابه اثنتان وعشرون منها في خلايا الذكور والإناث ، ولا يختلف في الجنسين إلا زوج صبغى واحد . حيث يتكون من صبغين متماثلين تماماً في خلايا الإناث أما في الذكور فيتكون من صبغى يشبه أحد الصبغين الجنسيين المتماثلين في الإناث ومن صبغى آخر أصغر حجماً وسنتحدث بالتفصيل عن الصبغيات الجنسية في الإنسان وارتباطها ببعض الصفات في باب لاحق يختص بدراسة الوراثة البشرية .

ويختلف الوضع بالنسبة لمتاثل الصبغين الجنسيين أو تباينهما في كائنات أخرى حيث يكون الصبغيان الجنسيان متماثلين في الذكور ومختلفين في الإناث ، كما هو الحال في الطيور والفراش وبعض الأسماك . وفي مثل هذه الحالة يرمز للصبغين الجنسيين المتماثلين في الذكور بالرمز « ز ز » (ZZ) وللصبغين الجنسيين في الإناث بالرمز « ز و » (ZW) . ويعرف هذا الطراز من الصبغيات الجنسية بطراز « ز و » بينما يعرف طراز ذباب الفاكهة بالطراز (س ص) . فإذا رمزنا للصبغيات الذاتية في كلا الطرازين بالرمز (أ) . فإننا نستطيع مقارنة توزيع الصبغيات الذاتية والجنسية في جنسى الأبوين وما ينتجان من أمشاج وفي أفراد الجيل الأول (شكل ٤١٤) .

وفي بعض كائنات حيوانية من طراز (س ص) — مثل أنواع من البق والجراد — قد يختفى الصبغى (ص) كلية في الذكور ، وبذلك يكون التركيب الصبغى الجنسى في الإناث هو (س س) وفي الذكور (س) . بمعنى أن عدد الصبغيات في خلايا الذكور ينقص باستمرار صبغياً واحداً عن عددها في الإناث .

الصبغيات الجنسية في النباتات :

لم يقتصر اختلاف توزيع الصبغيات الجنسية عند مقارنة ذكر الكائن بأنثاه على الإنسان والحيوان بل تعداه أيضاً إلى بعض النباتات الزهرية ثنائية المسكن ، فقد وجد سانتس في نبات « الإلوديا » (Elodea) آلية صبغية

والإناث ، ويختلف زوج واحد فيهما تمام الاختلاف ، إذ يكون تركيبه الوراثي (س س) في خلايا الإناث و (س ص) في خلايا الذكور . ومن ثم يحدث عند الانقسام الاختزالي وتكوين حبوب اللقاح انفصال بين الصبغيين الجنسيين (س) و (ص) وتكوين نوعين من هذه الحبوب ، أحدهما يحمل الصبغي الجنسي (س) والآخر يحمل الصبغي (ص) ، كما توجد آليه متشابهة في نبات الحنيس ثنائي الجنس (*Lychnis dioica*) الموضح في (شكل ٤١٥)

(شكل ٤١٥)



الصبغيات المنوية في نبات الحنيس (*Lychnis dioica*) ، ونرى إلى اليسار خلية كبيرة تمثل خلية ذكرية يتباين فيها الصبغيان الجنسيان (س س) لحبوب اللقاح ، وفي خلية أنثوية — أو خلية والد في البويضة — حيث يشابه الصبغيان الجنسيان (س ص) ، عن يمين

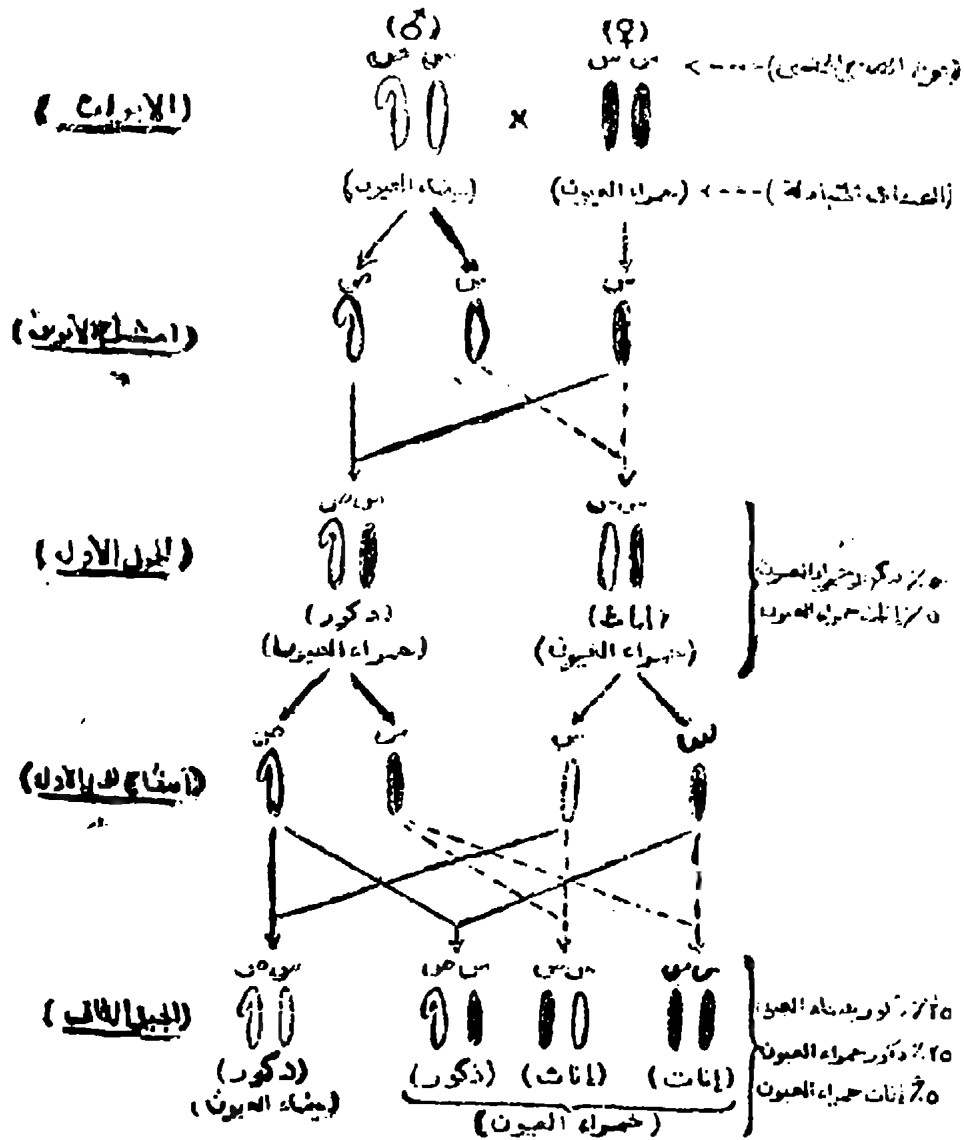
ووجد في نبات الحميض (*Rumex*) أن خلايا النباتات الذكرية تحتوي على ستة أزواج من الصبغيات الذاتية أو الأوتوسومات وعلى ثلاثة صبغيات جنسية منفردة ولترمز لها بالرموز (م ، م ، م) ، فعند الانقسام الاختزالي لتكوين حبوب اللقاح — يتجه الصبغي الجنسي (م) إلى أحد الأقطاب بينما يتجه الصبغيان الآخران (م ، م) إلى القطب المضاد ، ومن ثم يتكون نوعان من حبوب اللقاح ، أحدهما تركيبه الصبغي (٦ أوتوسومات + م) والآخر (٦ أوتوسومات + م + م) . ويعطى النوع الأول من الإخصاب نباتات أنثوية بينما ينتج الثاني نباتات ذكرية .

صفات مرتبطة بالجنس :

وجد في ذباب الفاكهة - وهو من طراز (س ص) - أن الصبغى الجنسى (ص) يختلف عن الصبغى (س) وعن الصبغيات الذاتية في عدم احتوائه إلا على عدد قليل من الوحدات الوراثية أو الجينات. وفي معظم الأحيان لم تكتشف عليه جينات على الإطلاق ، وإذا ما اكتشفت بعض جينات فهي عادية ليست متضادة مع الجينات الموجودة على الصبغى المماثل (س) كما هو الحال في الأزواج الأخرى من الصبغيات الذاتية . إلا أن هناك صفات خاصة ترتبط بالصبغى الجنسى (س) ، ومن أمثلة هذه الصفات لون العين في ذباب الفاكهة . فاللونان الأحمر والأبيض لعيون ذبابة الفاكهة يكونان زوجاً من الصفات المتضادة يسود فيهما الاحمرار على البياض . ووجد أن انتقال هذه الصفات يمت بصلة وثيقة إلى الجنس . فنتيجة التهجين بين أفراد حمر العيون وأفراد بيض العيون تختلف باختلاف لون عين الأبوين . ووجد أن العوامل الوراثية المسؤولة عن إبراز احمرار العيون أو بياضها تحمل بوساطة الصبغى (س) ، أما الصبغى الجنسى (ص) فلا يمت بأذى صلة إلى هذه الصفات . وترى في (شكل ٤١٦) نتيجة التلقيح بين أنثى ذباب حمراء العيون وذكر أبيض العيون . كما ترى في (شكل ٤١٧) نتيجة التلقيح بين أنثى ذباب بيضاء العيون وذكر أحمر العيون .

يتضح من الرسوم التخطيطية المبينة بالشكلين أنه إذا حدث تلقيح بين أنثى ذباب حمراء العيون وذكر أبيض العيون كانت جميع أفراد الجيل الأول - ذكوراً وإناثاً - حمر العيون ، فإذا ما حدث تلقيح بين هذه الأفراد كان نتاج الجيل الثاني من الإناث حمر العيون ، أما الذكور فنصفها ذات عيون حمراء والنصف الآخر ذات عيون بيضاء . أما إذا حدث تلقيح بين أنثى ذباب بيضاء العيون وذكر أحمر العيون فإن أفراد الجيل الأول من الذكور تكون بيضاء العيون وتكون الإناث حمراء العيون ، فإذا ما حدث تلقيح بين هذه الأفراد فتكون الإناث - وكذلك الذكور - نصفها ذات عيون حمراء والنصف الآخر ذات عيون بيضاء .

(شکل ۴۱۶)



ووجد بالمثل أن هناك صفات ترتبط بالجنس في الكائنات من الطراز الجنسي (ز و) إذ لوحظ في الدجاج أن التخطيط أو سواد اللون يرتبط بعوامل وراثية محمولة على الصبغي (ز) . وبين (شكل ٤١٨) نتيجة التلقيح بين فرخة مخططة وديك أسود ، ويتضح منها أن الفراخ من أفراد الجيل الأول كانت جميعها سوداء بينما كانت الديوك مخططة ، أما في الجيل الثاني فكان نصف الديوك أو الفراخ مخططة والنصف الآخر سوداء اللون . وتفسير ذلك أن التخطيط مرتبط بجين سائد (خ) على الصبغي (ز) ، ووجود الجين (خ) المتنحي يسبب السواد ، أما الصبغي (و) فلا يحمل جينات على وجه الإطلاق .

الباب الخامس والأربعون

التطور العضوى والطفرة

(Organic Evolution and mutation)

بعد التطور العضوى من الحقائق التى لا ريب فيها ، فكل ما نراه حالياً من شتى طرز الكائنات لا بد وأنها تدرجت من كائنات سبقتها فى مضمار الحياة ، ولم يكن تشارلس داروين (Charles Darwin) أول من وجه الأنظار إلى إمكان التطور ، بل سبقه من قبل كثير من علماء الإغريق الأقدمين من أمثال أناكسيماندر (Anaximander) وأمبيدوكلس (Ampedocles) ، ومع أن حدوث التطور يعد من الأمور المسلم بها ، إذ أن هناك كثيراً من الأدلة المؤيدة له مستمدة من علوم التصنيف والحفريات والتشريح المقارن والفسولوجيا والأجنة والتوزيع الجغرافى ، فإن الآراء متضاربة عن كيفية حدوثه ، ومن أهم هذه الآراء تلك التى وضعها لامارك وداروين ووايزمان ودى فريزر ، وسنناقش كل واحد منها باختصار .

(١) النظرية اللاماركية فى الاستعمال وعدم الاستعمال :

وضع هذه النظرية العالم الفرنسى لامارك (Lamarck) ١٧٤٤ - ١٨٢٩) ، وافترض فيها تعرض البيئة للتغيير ، وأن الاستعمال أو عدم الاستعمال قد تبدل من صفات الأفراد ، وأن الصفات التى يكتسبها الفرد أثناء حياته تنتقل إلى ذريته بالوراثة ، فالاستعمال المستمر لجزء من الجسد - كاستعمال الحداد لعضلات ذراعه - ينتج عنه ازدياد نمو ذلك العضو ، بينما ينتج عن عدم استعمال عضو ما ضموره الجزئى أو اختفائه اختفاءً كلياً ، وقد ضرب لامارك لذلك مثلاً عنق الزرافة ، فهذا العنق وصل إلى درجة غير عادية من الطول ، وفسر ذلك بأن الزرافة تمد عنقها لتصل إلى أوراق الأشجار العالية ، ومن ثم زاد العنق تدريجياً فى الطول ، وازداد بتوالى الأجيال حتى وصل إلى ما وصل

إليه الآن ، ومن ناحية أخرى ضمرت أجنحة بعض الطيور نتيجة لعدم استعمالها في الطيران . إلا أن النظرية اللاماركية في توارث الصفات المكتسبة لم تقابل بالتأييد من علماء الأحياء لافتقارها إلى البرهان .

(٢) النظرية الداروينية للانتخاب الطبيعي :

قام عالم الأحياء الإنجليزي تشارلس داروين (Charles Darwin) برحلة استكشافية في الفترة ما بين عامي ١٨٣١ و ١٨٣٦ طاف فيها العالم جميعه ، وقد اكتسب من حسن المران وكثرة المشاهدات ما حفزه على استحداث نظرية جديدة في كيفية حدوث التطور ، نشرت عام ١٨٥٩ في كتابه « أصل الأنواع والانتخاب الطبيعي » أو « استبقاء السلالات المناسبة بنضالها في الحياة » ، وتعتمد النظرية الداروينية على المشاهدات الآتية :

(١) إسراف الطبيعة : تبلغ الكائنات الحية درجة كبيرة من الخسوبة ، ومع ذلك فإن متوسط عددها الإجمالي يكاد يكون ثابتاً . فما لا ريب فيه أن ما تنتجه النباتات من أنسال أكثر مما يقدر لها البقاء ، فنسبة ضئيلة للغاية من بذور وجراثيم النباتات هي التي تستطيع أن تنبت فعلا ، كما لا تصل إلى مرحلة النضوج إلا قلة ضئيلة من البادرات النابتة .

(ب) الصراع أو التناحر للبقاء : لما كان ما ينتجه الأفراد من أنسال يفوق ما يلزم لإعالتهم من إمكانات في هذا الكون ، فإن نضالا مستمراً ينشب بينها للبقاء ، يتمثل فيما يحدث في الطبيعة من تنافس للحصول على الغذاء والماء والضوء بين الأفراد ، من نباتات وحيوانات ، ولا يعد هذا الصراع متكافئاً بسبب تباين التركيب وأوجه النشاط .

(ج) اختلاف الكائنات والأنواع من حيث ملاءمتها لبيئة ما : مما هو جلي أن النبات المائي ليس صالحاً للنمو في تربة جافة ، كما أن النبات الجلفاني ليست لديه المقدرة على المعيشة في الماء .

(د) التنوع والوراثة : لا تشابه جميع أفراد النوع الواحد تشابهاً تاماً ، بل توجد هناك دائماً بعض الاختلافات (التنوعات) بين أفراد النسل الذى ينتجه نفس الوالدين ، وتكون لتلك الاختلافات صفة الثقلب أو الاستمرار والثبوت .

(هـ) الانتخاب الطبيعي : ينتج عن الصراع للبقاء (تنافس البقاء) انتخاب طبيعى بين السلالات ، بمعنى أن أصلحها هى التى يقدر لها البقاء .

(و) أصل الأنواع : إن التنوعات التى تستجيب بها بعض الأفراد لظروف بيئتها ومناهج حياتها ، وما نتج من تباعد عن الطراز الأصلى بتأثير الانتخاب الطبيعى على مر الأجيال ، لكفيل بمضى الزمن أن يرقى بتلك الأفراد إلى مرتبة الاستقلال كأنواع .

(٣) نظرية البلازم الجرثومى لوايزمان :

وضع أحد علماء الأحياء الألمان ، وهو أوجست وايزمان (O. Weismann) (١٨٣٤—١٩١٤) ، نظرية وراثية تعتمد على تسلسل البلازم الجرثومى (Germ plasm) . واعتراض بشدة على ما افترضه لامارك من توارث الصفات المكتسبة ، ويمكن تلخيص نظرية وايزمان (Weismann) فيما يلى :

(أ) تتميز خلايا الكائن الحى إلى نوعين : خلايا جسمية (Somatic cells) تحتوى على البلازم الجسدى ، وخلايا جرثومية (Germ cells) تحتوى على البلازم الجرثومى .

(ب) تكمن الخلايا الجرثومية داخل الجسد ، ولكنها ليست جزءاً منه .

(ج) تنشأ الخلايا الجرثومية منحدرة مباشرة من الخلايا الجرثومية للجيل الذى سبقها .

(د) البلازم الجرثومى فى تسلسل مستمر منذ بدأت الحياة ، ويقوم الجسد بصيانته .

(هـ) تنشأ التنوعات عن امتزاج الصفات المختلفة المستمدة من الوالدين .

(و) تنشأ الموجهات من البلازم الجرثومي ، وتنقل خارج الخلايا الجرثومية إلى الأجزاء المختلفة من الجسد النامي ، ويتم بهذه الطريقة تنويع الكائن : .

(ز) لا ينشأ طراز جديد من الكائنات إلا كنتيجة لطراز متغير من الخلية الجرثومية .

ومن ثم فإن آراء وايزمان عن التنوع تختلف تمام الاختلاف عن تلك التي اقترضاها لامارك وداروين ، فالأخيران يعتقدان أن مرد التنوع هو الجسد ، ثم ينتقل بعد ذلك إلى الخلايا الجرثومية ، أما وايزمان فقد أبرز أهمية الوراثة في حدوث التطور ، إلا أنه أغفل تماماً الدور الذي تقوم به البيئة .

(٤) نظرية الطفرة لدى فريز :

وضع عالم النبات الهولندي « هوجو دي فريز » (Hugo De Vries) عام ١٩٠١ نظرية لتفسير كيفية التطور على أساس التغيرات الفجائية ، وسمى تلك التغيرات الفجائية بالطفورات (Mutations) ، وقد وضع دي فريز هذه النظرية نتيجة اكتشافه لتغيرات تسرعى الأنظار في الأجيال المتعاقبة لنبات يعرف علمياً باسم « إينوثيرا لاماركيانا » (*Oenothera lamarckiana*) ، وجده عام ١٨٨٦ ينمو برياً في حقل مهجور على مقربة من هيلفرسوم بهولندا ، وعندما قام بإجراء تجارب على هذا النبات في حدائق أمستردام ثبت له أن الطفرات المستحدثة تظل ثابتة عندما تلقح فيما بينها تلقيحاً ذاتياً ، كما أنها عندما تلقح تلقيحاً خلطياً تخضع في توارثها للقوانين المندلية ، وقد أثبت من تبعه من باحثين صحة استنتاجات دي فريز ، واستغلت طريقته لاستكشاف الطفرات بين عدة أنواع من النباتات والحيوانات .

ومنذ استكشاف دي فريز توالى بحوث علم الخلية (Cytology) لإمادة اللثام عن العلاقة بين سلوك الصبغيات وحدث الطفرات ، وقد أثبتت هذه البحوث أن كثيراً من الطفرات تحتوى على أعداد صبغية جديدة تختلف عن

تلك الموجودة في الأنواع الأصلية ، فمثلا تحتوي نواة كل خلية من خلايا « إينوثيرا لاماركيانا » على أربعة عشر صبغياً ، بينما تحتوي إحدى طفراتها — وهي « إينوثيرا لاتا » (*Oenothera lata*) على خمسة عشر صبغياً في كل نواة خلية ، ولما كانت الطفرة تعد من أهم المسببات في حدوث التطور فسنتناولها فيما يلي بالتفصيل .

الطفرة

تنتج بعض سلالات من الكائنات — التي تبدو نقية أو متشابهة التركيب الوراثي (Homozygous) — أفراد تختلف مظهرها عن النوع المتداول ، وتظهر مثل هذه السلالات غالباً استجابة لاختلاف الظروف البيئية ، ولا تؤثر مثل هذه الفروق المظهرية — التي ترد إلى اختلاف الظروف البيئية — إلا في جسم الأفراد فقط ، ومن ثم فلا تتوارث فيما يليها من أجيال ، ولكنها تدل بصورة قاطعة على أن دراسة الصفات الوراثية تستلزم توحيد الظروف البيئية . ولكن يحدث في بعض الأحيان أن تظهر أنواع جديدة — لا يرجع منشؤها إلى تأثير العوامل البيئية — بل تنتقل الصفات الجديدة منها إلى ما يليها من أجيال حسب قوانين الوراثة المعروفة . وتعرف مثل هذه الطرز الجديدة — التي لا يرجع ظهورها إلى استجابة بيئية بل تتوارث صفاتها حسب القوانين الوراثة — بالطفرات (Mutants) ، وتعرف الظاهرة نفسها بالطفرة (Mutation).

وأول من افترض إمكان ظهور طرز جديدة من الكائنات ظهوراً فجائياً هو « دى فريز » عام ١٩٠١ ، نتيجة لدراسات مستفيضة قام بها على نبات « إينوثيرا لاماركيانا » (*Oenothera lamarckiana*) ، فقد لاحظ أن هذا النبات ينتج بانتظام طفرات جديدة ، تتميز بمحافظتها باستمرار على توارث الصفات التي ظهرت فيها . وافترض دى فريز أيضاً أن هذه الطرز الجديدة تعد من العوامل الأكثر أهمية في ظهور الأنواع الجديدة من التغيرات الطفيفة التي افترضها داروين . ومنذ ذلك الحين تعد الطفرة من أكثر الظواهر شيوعاً في غالبية النباتات والحيوانات .

أما أولى الطفرات التي اكتشفت بطريقة تجريبية فهي طفرة العين البيضاء في ذبابة الفاكهة (*Drosophila melanogaster*) ، التي اكتشفها مورجان (Moorgan) عام ١٩١٠ . فقد ظهرت فجأة في مزرعة سلالة نقية من ذباب أحمر العيون ذبابة واحدة بيضاء العيون ، ولم يستطع وقتذاك تعليل سبب ظهورها في مثل هذه المزرعة النقية . وعندما حدث تزاوج بين هذه الذبابة المتطفرة بيضاء العيون وذبابة حمراء العيون بدت صفة البياض متنحية بالنسبة للإحمرار ، ومن ثم فقد اكتسب الطراز الجديد أبيض العيون صفة التوارث — حسب القوانين المندلية — وأصبح طفرة أو طرازاً جديداً .

وقد تبين في بعض النباتات — كما في نبات « الإينوثيرا » — أن منشأ الكثير من الطرز الجديدة (أو الطفرات) إنما يرجع إلى تغيير في ترتيب وضع الجينات المعروفة من قبل على نفس الكروموسوم . فمن الأصناف التي كانت معروفة من قبل يوجد صنفان : أحدهما مزدوج الزهرة طويل قلم المتاع والآخر مفرد الزهرة قصير القلم ، ووجد أن انفراد الزهرة وطول قلمها تسود وراثياً ازدواجها وقصر قلمها ، ثم ظهر فجأة صنف جديد (أو طفرة) يجمع بين الصفتين المتنحيتين — وهما ازدواج الزهرة وقصر قلم المتاع — وهما صفتان لم تظهراً معاً من قبل في نفس النبات .

وقد تبين بالتدريج أن الطرز الجديدة — أو الطفرات — تظهر نتيجة لتغير في عدد الصبغيات أو ترتيبها أو لفقدان أو ازدواج أجزاء منها ، وتسمى مثل هذه الطفرات بالطفرات الكروموسومية (Chromosome mutations) ، كما أن هناك طرزاً أخرى من الطفرات يرجع سببها إلى تغيرات في الجينات ذاتها أو في ترتيبها ، وتسمى بالطفرات الجينية (Gene mutations) .

الطفرة الكروموسومية :

تحتوى كل خلية جسمية عادية — من خلايا النباتات والحيوانات الراقية — على مجموعتين مماثلتين من الصبغيات (ثنائية المجموعة الصبغية ، ويرمز لها بالرمز « ٢ ن ») ، إلا أن هناك شواذاً بين الكائنات حيث تحتوى كل خلية على

أكثر من مجموعتين مماثلتين من الصبغيات ، وتعرف مثل هذه الكائنات بمتضاعفة الصبغيات (Polyploids) ، وهي إما أن تكون ثلاثية التضاعف الصبغي (Triploids) ، إذا احتوت كل خلية على ثلاث مجاميع صبغية متماثلة (٣ ن) . وتكون عادة عقيمة عقماً كلياً ، ومنها ما هي رباعية المجموعة الصبغية (Tetraploids) أو سداسية المجموعة الصبغية (Hexaploids) .

وينشأ التضاعف الصبغي عن تهجين متبوع بتضاعف الصبغيات ، كما يمكن استحثاثه بمعاملة البذور بمحاليل مائية من مادة الكولشيسين (Colchicine) أو بتعريضها لدرجات الحرارة العالية ، أو بتعريض براعم الأزهار لتبريد مفاجئ في الوقت الذي يكون فيه الانقسام الاختزالي على وشك الحدوث في الأسدية والبويضات . والطفرة الناتجة عن التضاعف الصبغي تعرف بالطفرة الكروموسومية ، ويفسر التضاعف الصبغي الكثير من الطفرات التي تحدث في بعض النباتات البرية والمزروعة ، ومن أمثلة النباتات الأخيرة القمح والشوفان والدخان وقصب السكر .

الطفرة الجينية :

تحدث الطفرة الجينية نتيجة لتغير تركيب جين واحد في الصبغي ، ولذلك تسمى أيضاً بالطفرة الموضعية (Point mutation) لأنها وثيقة الاتصال بتغير نقطة واحدة أو موضع خاص في الصبغي . وتعد الطفرة الجينية من أهم العوامل الأساسية ، إن لم تكن المسؤولة عن ظهور أنواع جديدة من الكائنات . وبسبب حدوث طفرات جينية متتابعة يظهر كائن يتميز في صفاته تماماً عن أسلافه بحيث يمكن اعتباره نوعاً جديداً .

ولعل من العسير أن نعلل كيفية حدوث الطفرة الجينية ، ذلك التعليل الذي به نزداد معرفة بتركيب وكيمياء الجينات ذاتها في الصبغيات . فإذا ما تخيلنا الجينات بمثابة جزيئات أو أسس كيميائية كبيرة متصلة بنحيط غير متميز ، فمن المحتمل أن تكون أسساً معقدة ذات سلاسل جانبية عديدة . وعلى أساس هذا الافتراض اقترحت عدة نظريات لتعليل آلية الطفرة الجينية ، -

فتفترض احدى هذه النظريات أن سبب الطفرة الجينية يرجع إلى تغيير ترتيب بعض الذرات المكونة للأسس الجينية ، كما تفترض أيضاً إمكان فقد جزء من هذا الأس . ويعد الجين — بحسب هذه الآراء — بمثابة وحدة مميزة ذات تركيب على أكبر درجة من التعقيد ، ولا تعدو الطفرة إلا أن تكون مظهراً لفقدان أو تغيير ترتيب المادة داخل الجزيء أو الأس الجيني . وهناك نظرية أخرى لا تغزو الطفرة الجينية إلى تغيير في الأسس الجينية بمفرداتها . بل تعتبر الصبغي جميعه كوحدة وراثية قائمة بذاتها . وتعلل هذه النظرية حدوث الطفرة كنتيجة لتغير ترتيب الأسس الجينية المكونة للصبغي جميعه .

تأثير الطفرة :

تسبب الطفرة حدوث تغييرات مختلفة في الكائنات لا يكاد يشملها حصر ، فجميع أجزاء الكائن قد يعثر بها تغيير ، وقد يتغير كل جزء منه بطرق شتى . فهناك من الطفرات ما تسبب تغيير شكل كل عضو وحجمه ولونه جميعاً . ومنها ما تعمل على تغيير الكثير من المميزات الأساسية للأفراد مثل :

(أ) درجات ثبوت الجينات الأخرى بالنسبة للجين المتطفر .

(ب) السرعة الطفرية للجينات الأخرى بالنسبة للجين المتطفر .

(ج) تكوين الخيوط المغزلية في الانقسام الاختزالي .

(د) حيوية الأمشاج الجنسية .

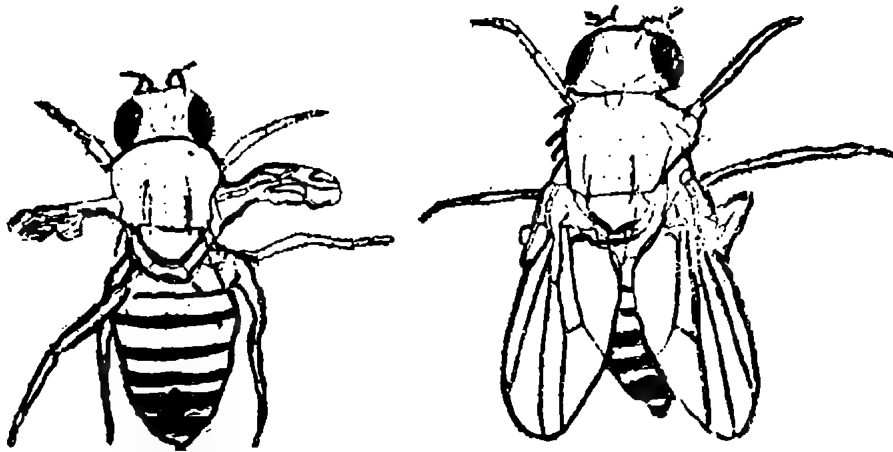
(هـ) حدوث تنافر بين البيض والحيوانات المنوية ، مما يحول دون اقتراب نوعي الأمشاج لإتمام عملية الإخصاب وبسبب العقم .

وقد تنشأ طفرات في بعض الكائنات تسبب موتها ، نتيجة لاختلال التكوين الجنيني الطبيعي أو للتأثير على بعض أعضاء أساسية أو عمليات فسيولوجية .

ولما كانت الأنواع المتطفرة حديثة عهد بالحياة وبالظروف البيئية التي تعيش فيها ، فمن الطبيعي أنها تكون أقل تجاوباً مع البيئة التي تعيش فيها من

الأنواع الأصلية التي تطفرت منها ، إذ أن الأنواع الأخيرة استطاعت أن تكيف نفسها للظروف البيئية التي ظلت تعيش فيها وتستجيب لها منذ آلاف السنين. ومن ثم وجد أن أغلبية الطفرات الجينية تؤثر تأثيراً ضاراً على الأنواع المتطفرة إذا ما قورنت بأسلافها المتطفرة منها . ولندكر على سبيل المثال حالة ذباب الفاكهة ضامر الأجنحة المتطفرة من أنواع طويلة الأجنحة (شكل ٤١٩) ، إذ وجد أنه لا يستطيع أن ينافس أترابه طويلة الأجنحة في البيئة العادية ، بسبب أن البيئة الأخيرة تتطلب من الذباب الطيران لقطع المسافات الطويلة للبحث عن الطعام ، مما يعد عسيراً بالنسبة للذباب المتطفرة ضامر الأجنحة ، الذي يعجز عن قطع مثل هذه المسافات . أما في الأماكن التي يتوفر فيها الطعام — مثل زجاجات التجارب في المعمل — فيقف الذباب ضامر الأجنحة على قدم المساواة في منافسة أترابه طويلة الأجنحة . ويرجع السبب الرئيسي للتأثير الضار للطفرة إلى أن النوع الأصلي (أو البري) قد تطور بالتدرج حتى أصبح في حالة اتزان أو تجاوب مع البيئة التي يعيش فيها ، بحيث يسبب أى انحراف — ناشئ عن الطفرة — حدوث حالة اختلال .

(شكل ٤١٩)



نوعان من الأجنحة المتطفرة في بعض ذباب الفاكهة ، ونرى إلى اليسار أجنحة ضامرة وإلى اليمين أجنحة أصغر حجماً من الأجنحة العادية (عن رابلي) .

تكوين البرعم فإن جميع خلاياه تكون متطفرة ، وعندما ينمو البرعم إلى فرع خضرى أو شمراخ زهرى فإن جميع خلاياه تكون كذلك متطفرة ، أما إذا حدثت الطفرة فى مرحلة متأخرة من تكوين البرعم فينحصر التطفر فى بعض خلاياه دون البعض الآخر ، ومن ثم فيكون جزء من البرعم متطفرا والجزء الآخر غير متطفر أو عادياً ، وبالمثل يكون الفرع الخضرى الناشئ منه مكوناً من طرازين من الأنسجة ، أحدهما متطفر والآخر غير متطفر ، ويعرف هذا النوع من الطفرة فى الفرع — المكون من طرازين أو أكثر من الأنسجة المختلفة وراثياً — بالطفرة النسيجية أو الموزيكية (Mosaic mutation) .

والطفرات الجسدية فى النباتات — سواء أكانت برعمية أو نسيجية — تنشأ عن نفس الأسباب التى تنشأ عنها الطفرات بوجه عام . وتختلف أهمية الطفرات الجسدية فى النبات عنها فى الحيوان ، ففي الحيوانات تختفى الطفرات الجسدية بمجرد موت الحيوان ، أما الطفرات البرعمية فى كثير من النباتات فقد تظل إلى أجل غير مسمى . وذلك إما بواسطة التكاثر الخضرى للفرع الخضرى المتطفر وإما بالبذور التى ينتجها الشمراخ الزهرى المتطفر ، ومن أبرز الأمثلة على الطفرة البرعمية ما يلاحظ من وجود نوعين من الخوخ أحدهما عادى والآخر يتميز بقشرة ملساء ومذاق حلو ويعرف بالنوع الرحيقى (Nectarine) ، وقد وجد بالتهجين بين النوعين أن النوع العادى سائد على النوع الرحيقى . ولكن قد تنتج أشجار الخوخ العادى طفرات برعمية من النوع الرحيقى ، كما قد تنتج أشجار الخوخ الرحيقى طفرات برعمية تعطى فروعاً حاملة للخوخ العادى .

الطفرة والبيئة :

قد تتأثر سرعة الطفرة فى مختلف الجينات بالظروف البيئية ، فقد وجد مولر (Muller) مثلاً أن الطفرات أكثر حدوثاً عند درجات الحرارة العالية منها عند درجات الحرارة المنخفضة ، كما وجد غيره من العلماء أن سرعة الطفرة تزداد فى النبات والحيوان عند التعرض للراديو وأشعة إكس والضوء

فوق البنفسجي ودرجات الحرارة العالية أو الكثير من المعاملات بالمواد الكيماوية . وكانت هذه المشاهدات أول قيس من نور أضواء الطريق أمام العلماء لإحداث الطفرات صناعيا ، وبدأت أولى المحاولات في هذا المضمار بتغيير بعض الظروف البيئية مثل كمية الغذاء وإحداث درجات غير عادية من الحرارة والرطوبة والضوء وبتعريض الكائنات للإشعاعات الراديومية وأشعة إكس . ومع أن غالبية هذه المحاولات باءت بالفشل في المراحل الأولى من التجارب ، فقد نجح مولر في إحداث بعض الطفرات في أجنحة ذباب الفاكهة بتأثير الراديوم .

ولقد ازدهرت البحوث الخاصة باستحداث الطفرات الجينية بواسطة الإشعاع في عامي ١٩٢٦ و ١٩٢٧ ، عندما نشر مولر نتائج أبحاثه عن تأثير أشعة إكس في إحداث الطفرة في ذبابة الفاكهة ، التي نال من أجلها جائزة نوبل للعلوم عام ١٩٤٦ . وبين العالم ستادلر (Stadler) الصلة بين أشعة إكس وإحداث الطفرات في الذبابة ، كما سجل عالمان آخريان طفرتين مستحدثتين في نبات الداتورة (*Datura stramonium*) بتأثير إشعاعات جاما الصادرة من انبعاثات راديومية ، وقوات بعد ذلك البحوث التي عززت استحداث الطفرات بتأثير الإشعاعات ، وتعد أشعة إكس والانبعاثات الراديومية أكثر الوسائل تأثيراً في إحداث الطفرات الجينية في مختلف الكائنات ، من نبات وحيوان .

وهناك طرق شتى لإحداث الطفرات باستعمال أشعة إكس أو الانبعاثات الراديومية ، ففي النباتات تعالج بمثل هذه الإشعاعات البذور الكامنة والنابتة والبراعم الزهرية وحبوب اللقاح ، والطفرات التي تحدث في نباتات ناتجة عن معاملة البذور التي نشأت منها — بالإشعاعات أو بغيرها من مسببات طفورية — تعرف بالطفرات البذرية (Seed mutants or sports) . أما في الحيوانات فتسلط الإشعاعات على الحيوانات المنوية والبيض غير الملقح أو المخصب ، وقد تعامل أيضاً الأنسجة الجسدية ، ولكن لاتحدث الطفرات الجسدية صفات موروثة .

الطفرة والتطور :

ثبت أن الطفرة تحدث بإحدى طريقتين :

١- تغيير في وحدة وراثية أو جين (Gene) في صبغي ما (طفرة جينية أو موضعية) .

٢- شذوذ أو عدم انتظام الصبغيات أثناء الانقسامات الخلوية ، مما ينتج عنه فقدان أو إضافة صبغيات بأكملها أو قطع صبغية إلى الصبغيات الشائبة المتأثلة العادية (طفرة كروموسومية) .

وقد تبين أن مثل هذه التغيرات وضروب الشذوذ يمكن إحداثها بتأثير الإشعاعات وغيرها من وسائل صناعية ، وكان من الطبيعي أن يتبادر إلى الذهن السؤال التالي : ما مدى تأثير العوامل البيئية الطبيعية في إحداث طفرات بين الكائنات يمكن أن ينتج عنها التطور وظهور أنواع جديدة ؟ .. ثبت عملياً إمكان إحداث الطفرات بتأثير العوامل الطبيعية ، فقد وضعت مزارع من ذباب الفاكهة في مناطق عادية ووضعت أخرى في مناطق تتميز عن المناطق العادية بزيادة الإشعاع - مثل المناجم المحتوية على خام به نسبة ضئيلة من الفلز المشع (اليورانيوم) - ووجد أن الذباب المتروك في المناطق الأخيرة أظهر تطفراً أعلى بكثير من ذلك الذي ترك في مناطق عادية ذات إشعاع طبيعي .

ووجد أيضاً أن درجات الحرارة العالية والهزات الحرارية تعمل على زيادة سرعة الطفرة ، ومما يعزز ذلك ما وجد من أن عدد أنواع النباتات في المناطق الاستوائية أكثر منها جداً في المناطق المعتدلة ، كما وجد أن حوالي ٨٠٪ من أنواع الزواحف وحوالي ٥٨٪ من أنواع الثدييات توجد بالمناطق الاستوائية .

وزيادة تردد الطفرات — نتيجة الإشعاعات الطبيعية أو درجات الحرارة العالية أو غيرها من ظروف بيئية — تسبب زيادة التغيرات الوراثية وظهور أنواع جديدة ، مما يهيئ لنا موس الانتخاب الطبيعي مكاناً ليقوم بدور هام في تحديد التنافس بين الأنواع . أما الأنواع التي حدثت فيها الطفرة لغير مصلحتها فقد حاق بها الهلاك وطواها النسيان ، وأما تلك التي تطفرت في مصلحة زيادة تجاوزها لظروف بيئتها فقد ازدهرت باستمرار وقدر لها البقاء .

الباب السادس والأربعون

الوراثة البشرية

(Human Heridity)

درسنا توارث الصفات — طبقاً لقوانين مندل — في كل من النبات والحيوان . وقد جد أنه هذه القوانين تنطبق أيضاً على الإنسان ، إلا أن دراسة الوراثة البشرية أكثر صعوبة بسبب طول عمر الإنسان مما لا يتيح لمباحث واحد أن يقتنع أكثر من ثلاثة أو أربعة أجيال على الأكثر ، كما أن عدد الأفراد الناتجة قليل . ومما يزيد في صعوبة علم الوراثة البشرية كثرة عدد الصبغيات بالخلية ($2n = 46$) ، كما أن كثيراً من الصفات المتوارثة في الإنسان تتحكم فيها عدة وحدات وراثية أو جينات (Genes) ، فمثلاً لون العيون أو الشعر أو الجلد بسبب عن صفات متعددة الجينات (Polygenic) ، ولذلك تعد دراسة توارثها من الصعوبة بمكان .

ويمكن توضيح القانون الأول لمندل — وهو قانون الإنعزال — إذا أخذنا من ألوان عيون الإنسان مثلاً . فإذا تزوج رجل ذو عيون زرقاء بامرأة زرقاء العينين فإن أولادهما يكونون جميعاً زرق العينين ، وكذلك إذا تزوج رجل ذو عيتين عسليتين بامرأة عسلية العينين أيضاً فإن جميع الأولاد تكون عيونهم عسلية ، على أن ذلك لا يحدث إلا إذا كانت زرقعة العيون أو عسليتها صفة أصيلة في الأبوين ، بمعنى أن أسلافهما كانوا ذوي عيون زرقاء أو عسلية . أما إذا لم يكن اللون العسلي لعيني الأب أصيلاً في أسلافه — بل منهم من كانت عيونهم زرقاء — ثم تزوج بامرأة زرقاء العينين ، فإن من أولادهما من تكون عيونهم زرقاء اللون ومنهم من تكون عيونهم عسلية . أما إذا تزوج رجل ذو عيون عسلية — وكانت هذه الصفة صريحة نقية في أسلافه — بامرأة ذات عيون زرقاء، وكانت زرقعة العين صفة أصيلة في أسلافها، فإن أولادهما

جميعاً يكونون ذوى عيون عسلية ، لأن صفة عسلية العين تسود زرقاويتها . فإذا فرض حدوث تزاوج بين أفراد الجيل الأخير ، فإن ثلاثة في كل أربعة من أفراد الجيل الثانى (أى الأحفاد) تكون عيونهم عسلية وواحد فقط تكون عيناه زرقاويتين ، حسب نسب القانون الأول للمندل (١ : ٣) .

وبالمثل ، إذا تزوج شخص ذو شعر مجمد زوجة سبطلة الشعر ، فإننا نلاحظ أن غالبية الأولاد يكونون مجمدى الشعر ، بسبب سيادة صفة مجمد الشعر على سباطته . أما إذا تزوج شخص ذو عيون عسلية وشعر سبطل بزوجة زرقاوية العينين مجمدة الشعر ، بمعنى الجمع بين صفة سائدة وأخرى متنحية فى كل من الزوجين ، فإننا نجد أن غالبية الأولاد يكونون ذوى عيون عسلية (وهى الصفة السائدة للون العيون) وشعر مجمد (وهى الصفة السائدة للشعر) .

ويهدف علم الوراثة البشرية نحو تحسين السلالة البشرية ، وذلك بالعمل على الإقلال من العيوب الطبيعية والعقلية فى الإنسان وزيادة الصفات المرغوب فيها مثل الذكاء ومقاومة الأمراض ، كما يهدف نحو دراسة الآلية التى تنتقل بها الصفات من الأجداد إلى الأبناء والأحفاد .

الأمراض الإنسانية :

الأمراض الإنسانية إما أن تكون أمراضاً بيئية أو وراثية . أما الأمراض البيئية (Environmental diseases) فمُسببة عن الظروف البيئية التى يعيش فيها المصابون مثل الأمراض المسببة عن الإصابة البكتيرية أو الظروف الجوية أو نقص التغذية (مثل أمراض نقص الفيتامينات كأمراض البلاجرا أو جفاف العين والكساح وغيرها من الأمراض) . أما الأمراض التى تنتقل من الآباء إلى الأبناء — أو من جيل سالف إلى ما يليه من أجيال — فتعرف بالأمراض الوراثية (Hereditary diseases) ، ومن أمثلتها بعض الأمراض العقلية ، ويشخص الأطباء عادة مرضاً ما بأنه وراثى إذا فشلوا فى إيجاد مسبباته البيئية .

وقد يقود الخطأ في تشخيص نوعية المرض - ما إذا كان بيئياً أو وراثياً - إلى كثير من المتاعب والأضرار ، فمثلاً كان يعتقد فيما مضى أن مرض الجذام Leprosy هو مرض وراثي ، وساد هذا الاعتقاد أمداً طويلاً حتى اكتشف الميكروب المسبب له ، والمعروف علمياً باسم « باسيلاس ليبرو » (*Leprobacillus*) . وإبان الاعتقاد بتوارث مرض الجذام كان القانون يحول بين المصابين وبين ممارسة بعض حقوقهم الشرعية كالزواج وإنجاب الأطفال ، وذلك بدلاً من علاجهم طبياً كغيرهم من المصابين بالأمراض البكتيرية . وبرغم ما كانوا يقاسون من حرمان في حقوقهم الشرعية ، فقد أعطيت لهم حرية الانتقال من مكان إلى مكان ، ومن ثم كان المرض ينشر باستمرار ويسبب إصابات جديدة على الدوام . فلما عرف أن الجذام مرض بيئي وليس وراثياً وضع المصابون في معازل خاصة للمعالجة حتى لا يمتد المرض إلى الأصحاء ، وأبيح لهم الزواج بعد أن يتم لهم الشفاء .

الوراثة والبيئة :

ليس علم الوراثة البشرية في مثل بساطة علوم الوراثة النباتية أو الحيوانية ، وذلك بسبب تضارب آراء علماء الوراثة والاجتماع ، فعلماء الوراثة من أمثلة جالتون (Galton) وبيرسون (Pearson) يؤكدون أهمية الوراثة ، أما علماء الاجتماع فيؤكدون عادة أهمية البيئة . والمقصود بالعوامل البيئية جميع العوامل الخارجية التي تؤثر في الشخص منذ بدء نموه ، منذ كان جنيناً داخل الرحم - يتأثر بجميع مافيه من حرارة ورطوبة وتغذية وغيرها من عوامل - إلى أن تلفظه ظلمات الأرحام إلى العالم الخارجي فيشب فيه متأثراً بالعوامل المحيطة به . أما العوامل الوراثية فهي العوامل التي توجد في الكائن منذ عملية الإخصاب ، وتنتقل - بطريق الجينات المحمولة على الصبغيات - من الآباء والأمهات إلى الأبناء .

وبجانب الصفات التي أمكن إثبات عواملها الوراثية أو رد مسبباتها إلى عوامل بيئية ، توجد صفات معنوية - كالحلق مثلاً - مازال العلماء تتضارب

أراوهم بشأن أثر كل من الوراثة والبيئة فيها ، فالذين يؤكّدون الأصل الوراثي للخلق — فيما يسمونه بالحاسة الخلقية (Moral sense) — هم بعض فلاسفة الأخلاق الذين يتحدثون عن هذه الحاسة كأنها ملكة وراثية توجد في الشخص فتمكنه من التمييز بين الخير والشر . ولكن أثبت المحدثون من علماء النفس والوراثة خطأ هذا الرأي . ولكي نحدد مرد سلوك الفرد إلى عوامل بيئية أو وراثية لا بد أن نعمل على توحيد الظروف البيئية ما أمكن لتكون الفروق الناتجة بين الأفراد راجعة إلى العوامل الوراثية وحدها . أو نعمل على توحيد العوامل الوراثية ما أمكن لتكون الفروق الناتجة مردها إلى الظروف البيئية دون سواها .

ولما كانت الجينات — أو الوحدات الوراثية — هي التي تسيطر على الصفات الوراثية . فلا بد أن تكون الصفات الأخيرة غير مرتبطة بالظروف البيئية التي يعيش فيها الكائن . إلا أنه وجد بالتجربة وبالمشاهدة أن بعض الصفات المتوارثة قد تتفاوت في درجة ارتباطها بالبيئة . فمن الصفات الوراثية — مثل لون العين وفصائل الدم — مالا تتأثر كلية بالظروف البيئية ، ومنها صفات — مثل الطول والصحة العامة — قد تتحور استجابة للظروف البيئية التي يعيش فيها الكائن برغم كونها وراثية .

وسنتحدث عن ماهية العوامل البيئية التي قد تؤثر على الطرز المظهرية للوحدات الوراثية ، في النبات والحيوان بوجه عام وفي الإنسان بوجه خاص وتنقسم هذه العوامل البيئية إلى خارجية وداخلية .

١ — **العوامل الخارجية** : تتمثل العوامل البيئية الخارجية فيما يأتي : درجة الحرارة ، الضوء ، التغذية . الرطوبة النسبية . ويمكن توضيح تأثير هذه العوامل في الحيوان والنبات بنتائج التجارب الآتية :

(أ) **درجة الحرارة** : نبات زهر الربيع (Primula) تكون الأزهار حمراء اللون عند درجة حرارة ٢٠° مئوية . ولكن عندما يوضع النبات في

درجة حرارة ٣٥° مئوية تكون الأزهار الجديدة بيضاء اللون : فإذا ما وضع النبات في درجة حرارة منخفضة مرة أخرى ظهرت الأزهار الحمراء .

(ب) الضوء : تكون حشرات المن (Aphids) النامية في ضوء مستمر عديمة الأجنحة . أما تلك التي تنمو في ضوء متقطع فتكون مجنحة . وكذلك وجد بين النباتات صنف من الذرة الشامية إذا تركت حبوبه لتنضج داخل أغلفتها — لصيانتها من الضوء المباشر — أنتجت حبوباً بيضاء اللون . أما إذا أزيلت هذه الأغلفة وتعرضت الحبوب للضوء فإن لونها يصبح أحمر .

(ج) التغذية : إذا تغذت بعض البيغوات خضراء الريش على دهون الأسماك ظهر فيها ريش أحمر وآخر أصفر مختلطاً بالريش الأخضر . وبالمثل يكون النبات أخضر عند توفر عنصر الحديد في التربة ، فإذا لم يوجد هذا العنصر فإن لونه يكون أصفر .

(د) الرطوبة : يتميز بعض أفراد ذباب الفاكهة بوجود خطوط سوداء لاتلبث أن تختفي إذا عاشت تلك الأفراد تحت ظروف الجفاف ، فإذا ما انتقلت إلى بيئة عالية الرطوبة ظهرت فيها الخطوط السوداء .

٢ — العوامل الداخلية : تتأثر الصفات المتوارثة في الثدييات — لاسيما الإنسان — بإفرازات داخلية من غدد عديمة القنوات ، تعرف بالغدد الصم ، وتنتشر إفرازاتها — وهي المعروفة بالهرمونات (Hormones) — في الدم ، وتصل إلى كل جزء من أجزاء الجسم . ويتحكم كل هرمون في نشاط عضو أو جهاز خاص ، كما يتبين من الأمثلة الآتية :

(أ) ثيروكسين (Thyroxin) : وهو هرمون تفرزه الغدة الدرقية ، ويتحكم في سرعة النمو وفي عملية الأيض (التحويل الغذائي) .

(ب) أدرينالين (Adrenalin) : وهو هرمون تفرزه الغدة الكظرية (فوق الكلوية) ، ويؤثر على عمل الجهاز العصبي والقلب والأوعية الدموية

(ج) إنسيولين (Insulin) : وهو هرمون يفرزه البنكرياس ، ويؤثر على عملية الأيض السكرى .

(د) الهرمونات الجنسية (Sex hormones) : وهى إفرازات داخلية من المبايض والخصى ، وتؤثر على ظهور الصفات الجنسية الثانوية .

وينتج عن حدوث أى اختلال فى هذه الغدد - أو إفرازاتها - تغير فى بعض الصفات الوراثية ، فمثلاً فى المرض المعروف بالقماءة (Cretinism) يصبح الفرد المصاب به ضعيف العقل والإدراك ويصير قزماً لنقص إفراز هرمون الثيروكسين . ويحدث التحول الجنسى (Sex reversal) نتيجة لتغير الهرمونات الجنسية ، ومن أبرز أمثلته حالة الدجاجة التى تكون أنثى عادية ، تبيض كما تبيض الإناث ، حتى إذا ما أصيبت مبايضها بمرض السل توقفت عن إفراز هرموناتها الأنثوية ، وتحولت بالتدريج إلى ديك . ويرجع هذا التحول إلى أن للدجاجة عادة خصى أثرية ، يستحثها إيقاف إفراز الهرمونات الأنثوية على النمو وإفراز هرموناتها الذكورية ، مما يسبب تحول الدجاجة إلى ديك . وقد يحدث هذا التحول الجنسى فى الإنسان نتيجة لاختلال الغدد الجنسية .

نستنتج من ذلك أن الصفات الوراثية قد تتحول استجابة لظروف بيئية خارجية أو داخلية ، وتعد هذه الحقيقة من الأهمية بمكان فى الوراثة البشرية ، إذ يمكننا من معالجة بعض الأمراض الوراثية فى الإنسان باستحداث ظروف بيئية صناعية تعمل على تحوير الأمراض أو معالجتها ، ولكن لا بد أن نتذكر أن تأثير البيئة مؤقت ولا يمتد إلى ما يعقبه من أجيال . وتستغل المستخلصات الهرمونية طبياً بنجاح فى علاج كثير من الأمراض الناتجة عن تأثير الظروف البيئية الداخلية على الصفات المتوارثة ، مثل أمراض القماءة والسكر وضغط الدم .

التوائم

تعد دراسة التوائم (Twins) من أهم الدراسات في الوراثة البشرية ، وهناك نوعان من التوائم في الإنسان .

(أ) **توائم ثنائية اللواقح (Dizygotic)** أو ثنائية البيض (Biovular) ، وهى التوائم التى تنتج عن إخصاب بويضتين منفصلتين فى نفس الوقت والمكان بحيوانين منويين مختلفين .

(ب) **توائم وحيدة اللاقحة (Monozygotic)** أو وحيدة البيضة (Uniovular) ، وهى التوائم التى تنتج عن انقسام لاقحة إلى نصفين ، كل نصف ينمو ليكون توأماً منفصلاً مستقلاً .

وفى التوائم ثنائية اللواقح يختلف الأطفال فى كثير من الصفات . فمثلاً قد يكونان مختلفى الجنس . أحدهما ذكر والآخر أنثى . أما التوائم وحيدة اللاقحة فلا بد أن يكونا من جنس واحد ، إذ يتكونان نتيجة لانشطار نفس اللاقحة إلى نصفين ، ينمو كل منهما إلى طفل منفصل . والذى يحدث فى مثل هذه الحالة أن الخليتين الناتجتين من أول انقسام لللاقحة لا ترتبطان معاً لمواصلة الانقسام بل تنفصلان ليعطى كل منهما طفلاً توأماً منفصلاً . فإذا كان الانفصال غير تام نتجت مسوخ مزدوجة . ومن أشهر هذه المسوخ توائم سيام (Siamese Twins) .

وبسبب انحدار التوائم وحيدة اللاقحة من نصفى خلية واحدة — تماثل فيهما الصبغيات وما تحمل من جينات — فإن هذه التوائم تبدى فيما بينها تشابهاً كبيراً يثير الدهشة ، حتى ولو قدر لهم أن يعيشوا بمعزل عن بعضهم البعض فى أماكن متفرقة قاصية . فمثلاً قد يقترف أخوان توأمان جرائم مماثلة وهما يعيشان منفصلين فى أماكن مختلفة . أو يصابان بأمراض معينة — كأمراض حمى القش (Hay fever) والربو والسل — التى تبدأ تقريباً عند عمر معين وتتبع منهجاً متشابهاً فى التوأمين .

ولما كانت التوائم وحيدة اللاقحة تماثل تماماً من حيث الجينات التي تحملها صبغياتها . فقد قام بعض العلماء بإيجاد درجة التشابه — بحساب معامل الارتباط — للصفات الجسدية (الطول . الوزن .. الخ) والعقلية (الذكاء . التحصيل الدراسي .. الخ) والخلقية (قوة ضبط النفس والاندفاع وتنفيذ الرغبة) في مجموعتين ، إحداهما لتوائم أحادية اللاقحة والأخرى لتوائم ثنائية اللواقح كما يتضح من جدول (٣٧) .

(جدول ٣٧)

مقارنة درجة التشابه — ممثلة بمتوسط معامل الارتباط — في بعض الصفات الجنسية والعقلية والخلقية لتوائم وحيدة اللاقحة وأخرى ثنائية اللواقح .

الفرق	متوسط معامل الارتباط للتوائم ثنائية اللواقح	متوسط معامل الارتباط للتوائم وحيدة اللاقحة	ماهية الصفات
٪ ٣٦	٪ ٥٨	٪ ٩٤	جسدية
٪ ٢٤	٪ ٦٤	٪ ٨٨	عقلية
٪ ٢	٪ ٤٥	٪ ٤٧	خلقية

وقام بعض الباحثين بعزل التوائم بعد الولادة مباشرة ، وتربيتهم في بيئات مختلفة متفاوتة فيما بينها من حيث المعاملة والتعليم والمستوى الاقتصادي وغير ذلك ، وجاءت النتائج كلها معززة لثبوت التشابه الجسدى والعقلى بين التوائم لدرجة كبيرة وتغير نسبي في الناحية الخلقية .

وقد ساعدت دراسة التوائم على إثبات وراثته الذكاء في الإنسان . إذ حسب معامل ارتباط الذكاء في الطرز المختلفة من التوائم وبين الأخوة وأبناء العم ومن لا قرابة بينهم ، كما يتضح مما يلي :

معامل ارتباط الذكاء

توائم وحيدة اللاقحة متشابهة الجنس ٩٠ %
توائم ثنائية اللواقح متشابهة الجنس ٨٢ %
توائم ثنائية اللواقح مختلفة الجنس ٥٩ %
الأخوة ٥٠ %
أبناء العم ٢٧ %
من لا قرابة بينهم	—

وتدل هذه النتائج على أن الذكاء يورث . وأن أثر البيئة في تغييره قليل ، فالأخوة — وهم يعيشون معاً في منزل واحد — تكون درجة التشابه بينهم أقل بكثير منها بين التوائم ، كما ثبت أن التوائم وحيدة اللاقحة يتساوون إلى درجة كبيرة في ذكائهم أثناء مراحل العمر المختلفة حتى ولو تفاوتت البيئات التي يعيشون فيها تفاوتاً كبيراً .

الصفات والعيوب المتوارثة في الإنسان

يمكن تقسيم الصفات والعيوب المتوارثة في الإنسان إلى الطرز الثلاثة الآتية :

- (أ) تركيبية (Structural) .
- (ب) وظيفية (Physiological) .
- (ج) عقلية (Mental) .

وسنتحدث عن كل واحد من هذه الطرز الثلاثة :

(أ) صفات تركيبية

لون العين : يحتوي نسيج العين على جسيمات دقيقة تعمل على انعكاس الضوء الأزرق ، وعلى نسق متشابه لانعكاس الضوء من السماء ، فإذا لم يوجد ما يحول دون هذا الانعكاس بدأت العيون زرقاء ، إلا أنه كثيراً ما يوجد

فى الجزء الأمامى من قزحية العين صبغ بنى ، فإذا كان هذا الصبغ كثيفاً كانت العيون بنية قاتمة ، وإذا كان أقل كثافة تفاوت لون العين ما بين البنى الفاتح والأخضر الرمادى ، كما تتأثر ماهية اللون أيضاً بتركيب القزحية ذاتها .

ويبدو على وجه الإجمال أن غياب الصبغ البنى (أو القزحية الزرقاء) صفة متنحية بالنسبة لوجود هذا الصبغ ، أو بمعنى آخر تسود صفة بنية العيون على زرقاويتها . فإذا كانت هذه العلاقة صحيحة فإن الزواج بين أبوين زرقاوى العيون لابد أن ينتج أطفالاً زرق العيون ، ولكن يحدث أحياناً أن تكون عيون الأطفال بنية اللون ، وقد أمكن تفسير ذلك بأن أحد الأبوين يحمل عاملاً وراثياً لبنية العيون مصحوباً بعامل آخر سائد مانع له ، ومن ثم فإن الطفل الذى يرث عامل بنية اللون دون العامل المانع له يكون ذا عيون بنية . وفى الأشخاص الشقر يخفى اللون الأزرق والبنى لقزحية العين وتصبح الأخيرة أرجوانية اللون ، ويرتبط هذا اللون بطريقة ما بصفة الشقرة التى تؤثر بوجه عام — بجانب تأثيرها على لون العين — على لون الشعر والجلد .

لون الجلد : يتوقف لون الجلد على عدد من العوامل الوراثية ، ويحتوى غالبية السلالات البشرية على صبغ بنى تتفاوت درجة تركيزه باختلاف السلالات . ويسود لون الجلد الغامق على اللون الفاتح ، ولو أن السيادة مشتركة حيث توجد ألوان وسطية . وتظهر حالة الشقرة (Albinism) عند غياب الصبغ كلية من الجلد ، وتنتج هذه الحالة عن تغير مفاجئ يعترى العامل الوراثى المسيطر على لون الجلد فيتحول إلى عامل متنحى للون .

الصفات الوجهية (Facial characters) : مثل سمك الشفاه وحواجب العين ، وشكل الأذن والأنف . وغير ذلك من ملامح الوجه . كما يتأثر لون الشعر وتركيبه وطريقة توزيعه ببعض العوامل الوراثية ، ويورث الصلع كصفة سائدة فى الرجال ومتنحية فى النساء .

شكل الرأس :

ولما كانت صفة شكل الرأس من الأهمية بمكان عند العلماء المشتغلين

بعلم وصف الإنسان أو الأنثروبولوجيا (Anthropology) ، فقد اتخذت دراسة شكل الرأس أهمية خاصة في علم الوراثة البشرية . ويقاس الشكل عادة بمعيار خاص يعرف بالمعيار الرأسى (Cephalic index) ، وهو النسبة بين أوسع أجزاء الرأس عرضاً وأكثرها طولاً ، وتعد النسبة ٠,٧٢ منخفضة والنسب ٠,٨٦ مرتفعة ، وتنبت النسبة الأولى عن رأس ضيق مستطيل والثانية عن رأس مستدير . وأكبر دليل على وراثية شكل الرأس ما وجد من أن الشكل أكثر تشابهاً بين التوائم وحيدة اللاقحة منه بين التوائم ثنائية اللواقح .

ومما يعوق دراسة وراثية شكل الرأس دراسة مستفيضة ما وجد من تداخل بعض العوامل البيئية ، فالنمو على وجه الإجمال — بما فيه نمو الرأس وتشكله — تسيطر عليه الهرمونات لا سيما هرمون الغدة النخامية (Pituitary gland) ، وقد وجد في الأحقاب الأخيرة أن نمو الإنسان أخذ في الازدياد كما يبدو من قوامه العام ، وقد يرجع ذلك إلى زيادة معرفة الإنسان بأهمية الهرمونات والفيتامينات . ولعل السؤال الذى يتبادر إلى الذهن هو : ما مدى علاقة النمو بالمعامل الرأسى ؟ .. وللجواب على هذا السؤال نذكر أن التجارب التى أجريت على الفئران أثبتت أن نقص فيتامين (أ) يسبب نقصاً في طول الجمجمة ، ومن ثم زيادة في النسبة بين العرض والطول ، وقد تحدث تأثيرات مشابهة في الإنسان . وقد وجد دن (Dunn) أن شكل الرأس العريض يسود الشكل المستطيل ، كما لاحظ في الجيل البنوى الناتج عن التزاوج بين أهالى جزر هاواى الأصليين ذوى الرؤوس العريضة وبين المستوطنين لهذه الجزر من الأوروبيين مستطيلى الرؤوس .

عيوب الأسنان :

وجد أن بعض العيوب التى تعترى الأسنان وراثية ، فهناك عوامل وراثية سائدة تسبب عيوباً مثل غياب الأسنان القاطعة العلوية وبعض الأسنان القاطعة الأخرى والضروس ، كما أن هناك عوامل تعمل على اختفاء الأنياب

العلوية أو سن أو سنتين من أسنان العقل أو الأسنان الإضافية . ومن العوامل الوراثية السائدة ما تعمل على إفساد لون الأسنان بما تسببه من اضطباغها بلون بني . وفي بعض عائلات لا يوجد السنان القاطعان الوسطيان في الفكين نتيجة لعامل وراثي متنحي .

شواذ عظمية (Bone abnormalities) :

هناك عدد من العوامل الوراثية تسيطر على الهيكل العظمي للإنسان فتسبب تشويبه أو تحويره ، ومن أمثلة ذلك العامل السائد المسبب للصدر المحبوف (Hollow chest) ، حيث يبدو صدر الأفراد الحاملين لهذا العامل منضغطاً كأنه تقلص إلى الداخل بفعل ضربة كرة ، وهناك من العوامل السائدة الضارة ما ينتج عن وجودها نمو زوائد غضروفية للعظام ، كما أن هناك عوامل سائدة تؤثر على تكوين العظام فتجعلها لينّة بحيث تكون سهلة الإنكسار ، ومن ثم يتعرض الأفراد الحاملون لمثل هذه العوامل طول حياتهم لكثير من الشججات العظمية .

وترجع الطرز المختلفة من التقزم (Dwarfism) إلى عوامل وراثية ، ففي طراز التقزم غير المتكامل (Ateliotic) يكون التقزم متناسق الأعضاء والأجزاء ولكن تكون جميع أعضائه ضئيلة الحجم كثيراً إذا ما قورنت بممثلاتها في الفرد العادي ، ويبدو أن هذا الطراز من التقزم ينتج عن تفاعل عاملين سائدين . أما طراز التقزم الكساحي (Achondroplastic) فيتميز بالنمو الطبيعي للجذع وبالتقلص الكبير للأطراف ، ويرجع كذلك إلى وجود عاملين سائدين .

أما حالات الشذوذ المتوارث في أصابع اليد والقدم فكثيرة ، ومن أمثلتها ما يأتي :

١ - النحام سلاميات الأصابع (Symphalangy) : وهي حالة تلتحم فيها عظام السلاميات عند المفاصل ، فتصبح الأصابع بذلك صلبة منثنية الأطراف دون قصر في الطول (شكل ٤٢٠) .

(شكل ٤٢٠)



مرض النحام سلاميات الأصابع (عن
ميفتر (مجلة الوراثية) .

٢ - التصاق الأصابع

(Syndactyly) : وهي حالة تلتصق فيها
أصابع اليد أو القدم التصاقاً جانبياً ،
قد يكون في بعض الحالات التصاقاً
جلدياً وفي حالات أخرى التصاقاً عظمية .

٣ - قصر الأصابع :

(Brachydactyly) : وينتج عن غياب
السلامية الوسطية للأصبع ، فيبدو
قصيراً جداً إذا قورن بمثيله في الفرد
العادي .

٤ - قصر سلاميات الأصابع (Brachyphalangy) : وهي حالة يقصر
فيها أصبع أو أكثر نتيجة لقصر السلاميات ذاتها .

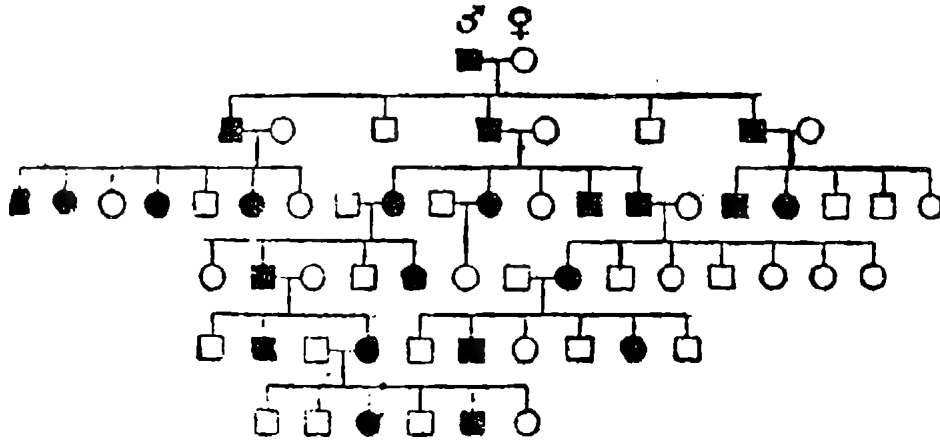
٥ - تضاعف أصبعي (Polydactyly) : وهي حالة توجد فيها أصابع
يد أو قدم زائدة بالإضافة إلى الأصابع العادية .

٦ - إنشاء أصابع الخنصر (Minor Streblicmicrodactyly) : وفي
هذه الحالة يتميز أصبع الخنصر بانثنائه .

ويرى في (شكل ٤٢١) التاريخ العائلي للزواج بين أفراد يظهر فيها أحد
الأبوين حالة التحام سلاميات الأصابع ، ويلاحظ أنه في كل حالة زواج
يظهر فيها أطفال متصلبو الأصابع يكون أحد الأبوين كذلك متصلب الأصابع .
ولما كانت هذه الظاهرة مستمرة في جميع الحالات التي يكون فيها أحد الأبوين
متصلب الأصابع ، فإن ذلك يدل على سيادة هذه الصفة ، وكذلك ثبت أن
قصر الأصابع صفة سائدة . أما حالة التصاق الأصابع (Syndactyly) فيبدو أنها تظهر
في بعض عائلات عن عامل وراثي سائد وفي عائلات أخرى عن عامل متنحي ،
إلا أن غالبية ما سبق من الحالات الشاذة للأصابع ترجع إلى عوامل وراثية .

سائدة ، حيث تبين وجود أطفال شواذ في كل جيل — يبلغ عددهم النصف أو يزيد — في كل حالة يكون فيها أحد الأبوين مظهراً لإحدى هذه الحالات الشاذة .

(شكل ٤٢١)



التاريخ العائلي لأفراد مصابين عرض النحام -علامات الأصابع (Sympheleangy) حيث رمز للذكر بـرمزات والامانات بدوائر ، وتطال هذه الرموز بالأسود في حالة الإصابة بالمرض ، وبلاحظ في كل حالة زواج - يكون فيها أحد الأبوين مصاباً بظهور هذا أو أكثر مصاباً بالمرض ، مما يدل على سيطرة صفة هذا المرض (عن شول) .

وبالإضافة إلى ما سبق من صفات تركيبية متوارثة ، توجد عوامل وراثية تؤثر على تركيب العيون فتسبب فقدان قوة إبصارها ، وعلى تركيب الآذان فتحرمها السمع ، إلى غير ذلك من حالات كثيرة يطول شرحها .

(ب) صفات وظيفية

هناك صفات وظيفية متوارثة ، لا يرجع سببها إلى تركيب عضو أو جهاز خاص ولكن إلى وظيفة هذه الأجهزة أو الأعضاء ، وسنذكر على سبيل المثال الحالات الآتية :

العمى النهاري (Day blindness) : ويستطيع الأشخاص المصابون بهذا المرض الرؤية في ضوء القمر أو في ضوء آخر خافت ، ولكن يعجزون تماماً عن الإبصار في ضوء النهار الساطع ، ويرجع هذا المرض إلى عامل وراثي

متنحي كما ظهر من دراسة التاريخ العائلي (Family history) لبعض الأفراد المصابين به .

قصر النظر (Myopia) : وفي هذا المرض تتشكل أجزاء العين بحيث تركز الرؤية على المرئيات القريبة ، بينما يكون من العسير تبين المرئيات البعيدة ويبدو أن هناك أكثر من عامل وراثي يسيطر على صفة قصر النظر ، بسبب أنها تكون متنحية في بعض الأنساب وسائدة في أنساب أخرى .

طول النظر (Hyperopia) : وفيه تتشكل أجزاء العين بحيث تركز الرؤية على المرئيات البعيدة ويتعذر تبين المرئيات القريبة ، ويورث كصفة سائدة .

عدم سداد البصر (Astigmatism) : ينتج هذا المرض عن التقوس غير المتساوي لقرنية العين في الاتجاهات المختلفة ، بحيث تبدو الخطوط الرأسية واضحة عند بؤرة مرئية خاصة بينما تكون الخطوط الأفقية مشوهة ، وهي صفة سائدة غالباً . ووجد في بعض العائلات — التي تظهر فيها هذه الصفة باستمرار — أن المحور الذي يصل فيه التقوس إلى ذروته مماثل في جميع الأفراد .

حول العين (Strabismus) : وفيه لا تستطيع محاور العينين أن تتجه وجهة واحدة لتتركز على نفس البؤرة المرئية ، وذلك لعدم التناسق بين عضلاتها ، ويورث الحول كصفة متنحية .

الصمم والبكم (Deaf-mutism) : وينتج هذا المرض عن عيب في عصب السمع أو في المراكز السمعية للمخ . ويورث كصفة متداخلة الفعل الجيني لزوجين من الجينات .

التذوق (Taste) : وجد أن الأفراد يختلفون فيما بينهم من حيث قدرتهم على تبين مذاق مادة ما مثل فينيل ثيوكارباميد (Phenylthiocarbamide) ، فكثير منهم يعجزون عن أن يتبينوا لها أي مذاق . وقلة منهم يستطيعون أن يتذوقوها كمادة شديدة المرارة أو حامضية ، وتورث حساسة تذوق هذه المادة كصفة سائدة .

الحساسية (Allergy) : وهى صفة فسيولوجية تتمثل فى حساسية بعض الأفراد للبروتينات الدخيلة أو لغيرها من المواد ، ومن أمثلة هذه المواد المسببة للحساسية والالتهاب حبوب القاح وبعض مواد الطعام والغبار . ومن أمراض الحساسية الأمراض الآتية : حمى القش (Hay fever) والربو (Asthma) والجدري الكاذب (Hives) والإكزيما (Eczema) الإستهقاء (Edema) والصداع نصف الرأسى (Migraine) ، وترجع هذه الحساسية إلى عامل وراثى سائد ، ويتميز الشخص الحامل لهذا العامل بأنه شديد الحساسية لبعض المواد الدخيلة — التى تكون غالباً مواداً بروتينية — فإذا تعرض لمادة من هذه المواد فإنه لا يلبث أن يبدى تفاعلاً ضدها . وأفراد العائلة الواحدة الذين يحملون نفس العامل الوراثى قد يكونون شديدي الحساسية لأشياء كثيرة ، قد تتمثل فى بعض الأحيان بحمى القش وفى أحيان أخرى بجدري كاذب ، ولكن غالباً مايتشابه نوع التفاعل بين أفراد العائلة الواحدة .

ضغط الدم : من أهم خصائص الأوعية الدموية احتفاظها بضغط دم ثابت ، يبلغ عادة فى الأشخاص متوسطى العمر حوالى ١٤٠ مم من الزئبق ، ولكن قد يكون عالياً فى بعض الأشخاص بحيث يصل إلى ١٦٠ أو ١٨٠ وحتى إلى ٢٠٠ مم أحياناً ، مما يعد عبئاً ثقيلاً وخطيراً على القلب ، ويورث ضغط الدم العالى كصفة سائدة . إلا أنه قد يتحور كثيراً استجابة للظروف البيئية مثل نوع الطعام ومدى ما يبذله الفرد من مجهود عقلى .

مرض السكر (Diabetes mellitus) : يرجع مرض السكر إلى العجز عن استغلال الكربوهيدرات استغلالاً طبيعياً ، فيظهر فى البول على هيئة سكر بسبب عجز خلايا البنكرياس عن انتاج هرمون الإنسولين . ولذلك تزداد كمية البول ويشعر المريض بالعطش والجوع ولا يلبث أن يعتريه هزال شديد . ويورث المرض كصفة متنحية ، ومن المشاهد أن الرجال أكثر قابلية للإصابة بالمرض من النساء . ولكن لا يدل ذلك على أى ارتباط بين المرض والجنس .

ديابيطس غير سكرى (Diabetes insipidus) : يتميز هذا المرض بكثرة

التبول . ولكن يخلو البول في هذه الحالة من زيادة في السكر أو أية مادة أخرى غير عادية ، ويشعر المريض بالعطش ، ويورث هذا المرض كصفة سائدة .

التهاب مفصلي (Arthritis) : يسبب هذا المرض التهاب المفاصل مصحوباً بتراكم البولات (Urate) في الأنسجة وحمض البولييك (Uric acid) في الدم ، ويورث المرض كصفة سائدة .

وراثية المقاومة وقابلية الإصابة ببعض الأمراض : دلت الدراسات على التوائم على إمكان توارث مرض الدرن (Tuberculosis) ، ففي ٣٧ زوجاً من التوائم وحيدة اللاقحة كان ٢٦ زوجاً منها متشابهة و ١١ زوجاً مختلفة من حيث علاقتها بمرض الدرن ، وفي ٦٩ زوجاً من التوائم ثنائية اللواقح ثبت تشابه ١٧ زوجاً منها بينما اختلف ٥٢ زوجاً ، مما يعد دليلاً قاطعاً على وراثية المرض . وبالمثل ثبت إمكان توارث مرض السرطان ، إذ وجد أن عدداً من التوائم وحيدة اللاقحة تظهر أوراماً سرطانية متشابهة . كما وجد أن ظهور مرض السرطان في نفس العائلة يكاد يظهر في أفرادها عند عمر مماثل ويصيب نفس العضو . وقد وجدت عوامل وراثية متنجية تسبب قابلية الإصابة لأمراض شلل الأطفال (Poliomyelitis) والدرن والحمى القرمزية والدفتيريا .

(ج) صفات عقلية

تعد دراسة وراثية الصفات العقلية أكثر تعقيداً من دراسة الصفات التركيبية والوظيفية . ولكن منها ما تركز على أسس وراثية محددة ومن أمثلتها ما يأتي :

التبلد العقلي (Feeble mindedness) : توجد طرز كثيرة من التبلد العقلي ، منها ما ترجع إلى مسببات بيئية كنتيجة للإصابة بمرض الزهري أو للإدمان على الخمر . ومنها ما ترجع إلى القماءة (Cretinism) المسببة عن عجز بعض الإفرازات الهرمونية . ومنها ما تركز على أسس وراثية ، فقد وجد جودارد (Goddard) عند دراسته لبعض العائلات — التي يكون فيها كلا الأبوين

متبلد العقل — أن من الأطفال ٤٧٠ يكونون متبلدى العقول وستة يكونون عاديين . وعند دراسة عائلات أخرى — يكون فيها أحد الأبوين متبلد العقل والآخر عادياً متباين التركيب الوراثى (Heterozygous) — وجد أن ١٩٣ من الأطفال يكونون متبلدى العقول و ١٤٤ يكونون عاديين (أى بنسبة تقريبية قدرها ١ : ١) . وفى ٢٦ عائلة — يكون فيها كل من الأبوين متباين التركيب الوراثى للتبلد العقلى — نتج ٨٣ طفلاً عادياً و ٣٩ طفلاً متبلد العقل (بنسبة تقريبية ٣ : ١) . ولعل النسب التقريبية فى الحالتين توحي بأن التبلد العقلى ينتج عن عامل وراثى متنحى .

الجنون الخفيف (Schizophrenia) : يعتقد أن الجنون يورث ، وأنه مسبب عن عدد من العوامل المتنحية . ولكن لا زالت آلية وراثة الجنون تستلزم الكثير من الدراسات التفصيلية .

البلاهة والعمى (Amaurotic Idiocy) : يولد الأطفال المصابون بهذا المرض عاديين ، ثم يفقدون بصرهم بعد فترة ما ويعجزون عن السير وتأخذ قدرتهم العقلية فى الاضمحلال وهم ما زالوا فى باكورة سنوات الطفولة . وينتج المرض عن انحلال العقد العصبية والشبكة العينية ، ولا يلبث المصابون بهذا المرض إلا قليلاً حتى يحيق بهم الموت وهم فى باكورة الحياة ، ويورث المرض كصفة متنحية .

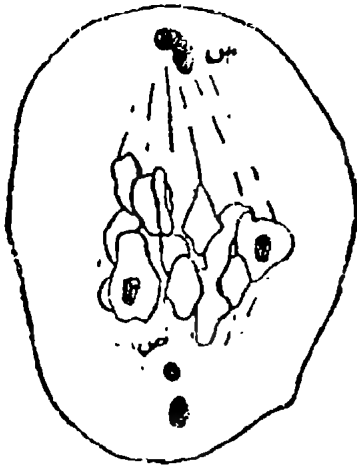
الصرع (Epilepsy) : يتميز هذا المرض بحدوث نوبات إغماء وتشنجات عضلية مميزة ، ويبدو أن السبب الرئيسى له حدوث اختلال فى الموجات المخية ، فقد دلت جميع حالات الصرع التى فحصت على أنها ناتجة عن تذبذبات واسعة غير منتظمة فى الموجات المخية ، على أن جميع التذبذبات لا تسبب حالات صرعية ، وتورث تذبذبات الموجات المخية كصفة سائدة . وبما يدل على وراثية التذبذبات الموجية المخية ما وجد من انطباقها وتشابهها فى التوائم وحيدة اللاحقة ، كما تبين من قياس الموجات المخية بمقياس المخ الكهربى (Electroencephalograph) .

الذكاء (Intelligence) : سبق إثبات إمكانية توارث الذكاء عند التحدث عن التوائم .

صفات مرتبطة بالجنس

يشبه الإنسان — من حيث توزيع الصبغيات الجنسية — ذبابة الفاكهة أى أنه من طراز (س ص) . ففي الإنسان تحتوى كل خلية على ثلاثة وعشرين زوجاً صبغياً . يتماثل صبغياً كل زوج منها — بما في ذلك الصبغى الجنسي — فى الإناث . أما فى الذكور فيوجد اثنان وعشرون زوجاً صبغياً ذاتياً متماثلاً ويختلف الصبغيان المكونان للزوج الثالث والعشرين — وهو الزوج الصبغى الجنسي — فى الشكل والحجم (شكل ٤٢٢) . إذ يكون الصبغى (ص) منضمرأ للغاية وغالباً لا يحمل جينات على الإطلاق . بينما يكون الصبغى (س) مميزاً ومماثلاً تماماً لكل من الصبغين الجنسيين الأنثويين . ومن ثم فينتج الرجال نوعين مختلفين من الحيوانات المنوية ،

(شكل ٤٢٢)



أحداهما يحمل الصبغى الجنسي (س) والآخر (ص) ، أما النساء فلا ينتجن إلا نوعاً واحداً من البيض (س) . ويرتبط جنس المولود بحيوية ونشاط أحد النوعين من الحيوانات المنوية ويقال أن الحيوانات المنوية الحاملة للصبغى (ص) — والتي ينتج عن إخصابها البيض أجنة ذكورية — تتحرك بسرعة أكبر نسبياً من تلك الحاملة للصبغى (س) والتي ينتج عن اتحادها مع البيض أجنة أنثوية ، ولكن ما زال هذا الموضوع قيد البحث .

وبسبب اختلاف الصبغين الجنسيين فى خلايا الذكور وتماثلها فى خلايا الإناث

وبسبب اختلاف الصبغين الجنسيين فى خلايا الذكور وتماثلها فى خلايا الإناث

توجد صفات خاصة ترتبط بجنس دون الآخر، وتعرف مثل هذه الصفات بالصفات المرتبطة بالجنس (Sex-linked characters) وسندرس منها مثالين هما:

(أ) **مرض نزف الدم** (Haemophilia) : وينشأ عن عدم قدرة الدم على التجلط ، ومن الخطر على المصابين بهذا المرض أن يخلعوا أسنانهم أو أن يجرحوا لأنهم إذا أصيبوا بجرح بسيط فإنهم يستمرون في الإدماء حتى يحيق بهم الموت ، ولو أن هذا الجرح لا يعد شيئاً مذكوراً بالنسبة للإنسان العادى . وغالباً ما يموت المصابون بهذا المرض قبل أن يبلغوا سن العشرين .

(ب) **العمى اللوني** (Colour blindness) : وهو عدم القدرة على التمييز بين اللونين الأحمر والأخضر .

والمرضان أكثر حدوثاً في الذكور وقلما يظهران في الإناث . فبنت الرجل تبدو طبيعية ، ولكنها تنقل المرض إلى نصف أبنائها الذكور ولا تنقله إلى بناتها .

نزف الدم :

ويتسبب مرض نزف الدم عن عامل وراثي متنحي محمول على الصبغي الجنسي (س) ، أما الصبغي (ص) فلا يمت إليه بأية صلة ولا يحمل أية جينات خاصة بهذا المرض . فإذا رمزنا للعامل السائد الذي يحول دون ظهور المرض بالرمز (م)، والعامل المتضاد معه والمسبب للمرض بالرمز (م) فإن الرجل إما أن يكون نزافاً (. م) أو طبيعياً (. م) . بفرض أن النقطة تمثل الصبغي الجنسي (ص) الخالي من العوامل الوراثية . وبالمثل يكون التركيب الوراثي للمرأة النزافة هو (م م) وللمرأة الطبيعية (م م) وللناقلة (م م) والأخيرة هي التي تحمل المرض ولكن لا تظهره . وقد لوحظ أن النساء النزافات من النادرة بمكان لأن اجتماع العاملين المتنحيين لنزف الدم له تأثير على الأجنة الأنثوية الحاملة لها ، فتسبب موتها في بدء تكوينها . ويرى في الشكل (٤٢٣) نتائج التزاوج بين :

١ - رجل طبيعي وامرأة ناقلة (شكل ٤٢٣ : أ) .

٢ - رجل طبيعي وامرأة نزافة (شكل ٤٢٣ . ب) .

٣ - رجل نزاف وامرأة ناقلة (شكل ٤٢٣ : ج) .

فإذا تزوج رجل طبيعي بامرأة ناقلة للمرض كان نصف الذكور من الجيل الأول نزافين والنصف الآخر طبيعيين ، أما الإناث فيكون نصفهن ناقلات والنصف الآخر طبيعيات . وإذا تزوج رجل طبيعي بامرأة نزافة كان جميع الذكور نزافين وجميع الإناث ناقلات . أما إذا تزوج رجل نزاف بامرأة طبيعية فإن الذكور يكونون جميعاً طبيعيين بينما تكون جميع الإناث ناقلات .

العمى اللوني :

وعلى نسق مشابه ترتبط صفة العمى اللوني بالصبغيات الجنسية ، إذ أنها تنتج عن عامل وراثي متنحي - نرمل له بالرمز (ع) - محمول على الصبغى الجنسي (س) . أما العامل السائد المتضاد معه (ع) فيسبب غياب المرض ، ولا يحمل الصبغى الجنسي (ص) أية عوامل وراثية على الإطلاق ولذلك يرمز له كما سبق بنقطة . ومن ثم يكون التركيب الوراثي للأشخاص - بالنسبة للمرض - هو كالاتي :

(ع .) ذكور مصابون بالعمى اللوني .

(ع .) ذكور عاديون .

(ع ع) إناث مصابات بالعمى اللوني .

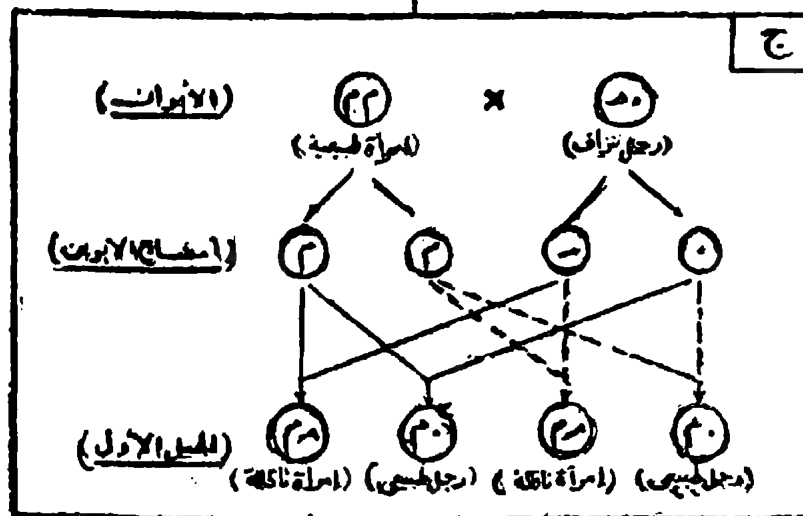
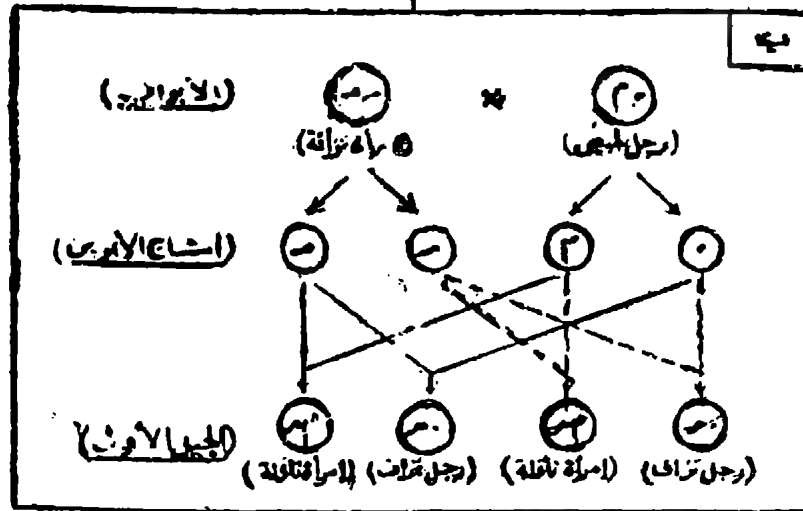
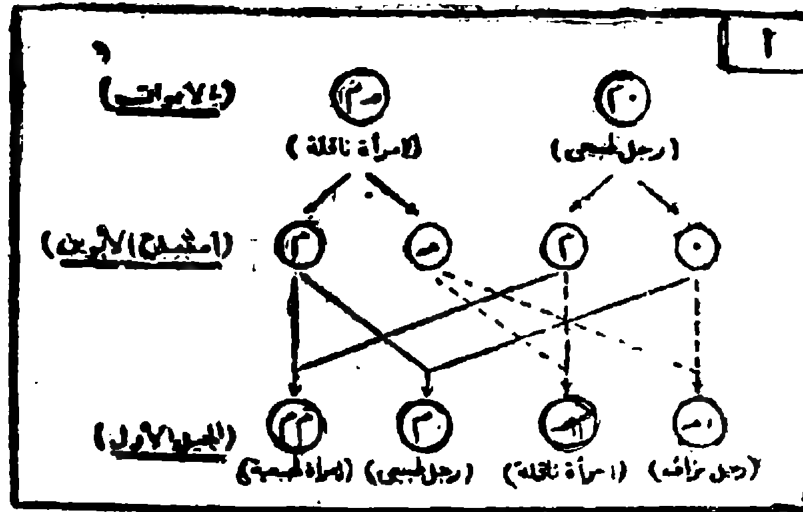
(ع ع) إناث ناقلات للعمى اللوني .

(ع ع) إناث عاديات .

فإذا تزوج رجل مصاب بالعمى اللوني (ع .) بامرأة عادية (ع ع)

فإن نسب أفراد الجيل الأول تكون كالاتي : ٥٠ ٪ ذكور عاديون (ع .)

٥٠ ٪ إناث ناقلات للمرض (ع ع) .



رسوم تخطيطية تبين نتيجة التزاوج بين : (أ) رجل طبيعي وامرأة ناقلة لمرض نزف الدم ، (ب) رجل طبيعي وامرأة ناقلة ، (ج) رجل ناقص وامرأة طبيعية ، ودرج مرض نزف الدم إلى وجود الماهل الوراثي المتنحي (س) على العنصر الجنسي (س)

أما إذا تزوج رجل عادى (. ع) بامرأة ناقلة للمرض (ع ع) فإن نسب أفراد الجيل الأول تكون كالاتى : ٢٥ ٪ ذكور عاديون (. ع) ، ٢٥ ٪ ذكور مصابون بالعمى اللوى (. ع) ، ٢٥ ٪ إناث عاديات (ع ع) ، ٢٥ ٪ إناث ناقلات للمرض (ع ع) .

أما إذا تزوج رجل طبيعى (. ع) بامرأة مصابة بمرض العمى اللوى (ع ع) فإن نسب أفراد الجيل الأول تكون كالاتى : ٥٠ ٪ ذكور مصابون بالمرض (. ع) ، ٥٠ ٪ إناث ناقلات للمرض (ع ع) .

فإذا تزوج رجل مصاب بالعمى اللوى (. ع) بامرأة ناقلة للمرض (ع ع) فإن نسب أفراد الجيل الأول تكون كالاتى : ٢٥ ٪ ذكور عاديون (. ع) ، ٢٥ ٪ ذكور مصابون بالعمى اللوى (. ع) ، ٢٥ ٪ إناث ناقلات للمرض (ع ع) ، ٢٥ ٪ إناث مصابات بالعمى اللوى (ع ع) .

يتضح مما سبق أن غالبية الأشخاص الذين يصابون بمرض العمى اللوى هم من الذكور دون الإناث ، ويرجع ذلك إلى أن خلية الذكور لا تحتوى إلا على صبغى جنسى واحد من طراز (س) ، ومن ثم فيرتبط ظهور المرض او غيابه بماهية عامل وراثى منفرد ، فإذا كان هذا العامل متنحياً ظهر المرض. أما الإناث فلا يظهر العمى اللوى إلا فى حالة واحدة ، هى حالة زواج رجل مصاب بالمرض بامرأة حاملة له . إلا أن هذه الإناث تموت فى بدء أطوارها الجنينية نتيجة للتأثير القاتل لتفاعل الصفتين المتنحيتين ، بنفس الطريقة التى سبق سردها فى حالة مرض نزف الدم .

سلسلة العوامل الأليلية وفصائل الدم فى الإنسان

من أهم الصفات المميزة للإنسان من الوجهة الوراثية فصائل الدم (Blood groups) ، إذ يتوقف نوع فصيلة دم كل إنسان على طرز فصائل دم أبويه . والعوامل الوراثية المسؤولة عن توارث فصائل الدم فى الإنسان ليست من البساطة بنفس الدرجة كالعوامل المتضادة الثنائية التى سبق شرحها .

ولكنها عوامل أكثر تعقيداً ، وتعرف بسلسلة العوامل الأليلية (Multiple Allelomorphs) . وقبل التحدث بالتفصيل عن فصائل الدم في الإنسان لابد لنا من أن نفهم ماهية العوامل الأليلية في الحيوان والنبات . ثم ندرج من ذلك إلى تبيان آلية تأثيرها في إحداث فصائل الدم في الإنسان .

سلسلة العوامل الأليلية :

تحدثنا فيما سبق عن أزواج العوامل الأليلية (Pairs of allelomorphs) مثل أزواج الصفات المتضادة الآتية : الإحمرار والبياض . والطول والقفزم واستدارة البذور وتجمعدها . إلى غير ذلك . وتقع الصفات المتضادتان في موقع صبغى متشابه في كل صبغين متماثلين . على أنه يوجد أحياناً في نفس الموقع الصبغى لصبغين متماثلين أكثر من عاملين متضادين ، وتعرف العوامل المتضادة في تلك الحالة بالأليلات المتعددة .

ففي ذبابة الفاكهة يكون اللون الطبيعي للعين هو اللون الأحمر . ولكن يحدث أحياناً أن تنتج أنواع من الذباب لها ألوان العيون الآتية : الأبيض ، الأيوسينى ، المشمشى ، الكريزى ، البرتقالى المصفر ، المرجانى ، وجميع هذه الألوان متنحية بالنسبة لصفة احمرار العين السائدة . فإذا رمزنا لصفة الإحمرار السائدة بالرمز (ح) فإن الطراز الجينى للذباب أحمر العيون - بالنسبة لأبيض العيون - إما أن يكون (ح ح) أو (ح ح) . أما جميع الألوان الأخرى فتتمثل بعوامل وراثية متنحية . حسب الطرز الجينية الآتية :

اللون	الطرز الجينى
الأبيض	• • • • • (ح ح)
الأيوسينى	• • • • • (ح (ي) (ي ح)
المشمشى	• • • • • (ح (ش) (ش ح)
الكريزى	• • • • • (ح (ك) (ك ح)
البرتقالى المصفر	• • • • • (ح (ب) (ب ح)
المرجانى	• • • • • (ح (م) (م ح)

فجميع العوامل وهى : ح، (ى) ، ح (ثن) ، ح (ك) ، ح (ب) ،
ح (٢) ، هى عوامل متنحية بالنسبة لعامل سائد واحد هو عامل الإحمرار
(ح) . والهجين الناتج عن التزاوج بين ذبابة حمراء العين وأى طراز متنحى
يكون أحمر العين مثل : (ح ح) ، (ح ح (ى)) ، (ح ح (ثن)) وهكذا دواليك .
أما الهجين الناتج من التزاوج بين طرازين متنحيين فيبدى لوناً وسطاً بينهما ،
فمثلاً يبدو الهجين الناتج عن التزاوج بين ذباب أبيض العين وآخر مشمشى
العيون — وطرازه الوراثى (ح ح (ثن)) — ذا عيون مشمشية فاتحة اللون .
وتعد هذه الحالة مثلاً للعوامل الأليلية المتعددة الناتجة عن عامل وراثى سائد
واحد يقابله عدد كبير من العوامل المتنحية المنتظمة فى نفس المرقع الصبغى
لكل من الصبغيين المتماثلين .

وتوجد كذلك حالات أخرى من العوامل المتضادة نتيجة وجود عامل
متنحى واحد تقابله عدة عوامل سائدة . ففى نبات القول يكون اصفرار الثمار
والأوراق نتيجة لسيطرة عامل وراثى متنحى ولنرمز له بالرمز (خ) ، يتضاد
مع dominant أحدهما — ولنرمز له بالرمز (خ) — ينتج عنه اصفرار
الثمار واخضرار الأوراق، والآخر — ولنرمز له بالرمز (خ (خ) — يسبب
اخضرار الثمار والأوراق معاً ، فالهجين (خ خ) يكون أصفر الثمار أخضر
الأوراق أما الهجين (خ (خ) فيكون أخضر الثمار والأوراق .

وتشبه العوامل الأليلية المتعددة — المسئولة عن إنتاج فصائل الدم المختلفة
فى الإنسان — مثيلاتها فى نبات القول ، من حيث وجود عامل متنحى واحد
يقابله عاملان متضادان سائدان ، كما سيتضح فيما بعد .

فصائل الدم فى الإنسان :

مما هو معروف منذ زمن بعيد أن عمليات نقل الدم من شخص إلى آخر
لا يمكن القيام بها بطريقة اعتباطية ، إذ يحدث أحياناً أن بعض الأشخاص
المنقول إليهم الدم لا يلبث أن يمحق بهم الموت بمجرد إتمام العملية ، إلا

أن سبب ذلك لم يعرف حتى عام ١٩٠٠ ، حيث اكتشف العالم لاندشتاينر (Landsteiner) أن إضافة مصل دم بعض الأفراد إلى كريات الدم الحمر لأفراد آخرين قد يسبب في بعض الأحيان تجميع هذه الكريات ، مما يعمل على إنسداد الأوعية وإيقاف الدورة الدموية ، ويسبب الموت . وقد أمكن فيما بعد بالتجارب العملية خارج الأجسام الإنسانية - وذلك بوساطة خلط دماء أفراد مختلفين ومنع الدم من التجلط قبل الاختلاط بوسائل كيميائية - التمييز بين فصائل مختلفة من الدم ، ووجد أن نوع التفاعل بين دماء فردين مختلفين يتوقف على طراز فصيلة الدم التي ينتمي إليها كل فرد . وبحسب فصائل الدم المختلفة قد يحدث تجميع لكريات الدم الحمر أو لا يحدث مثل هذا التجميع ، ويعرف هذا التجميع بالتلازن .

ويعزى التلازن (Agglutination) إلى تأثير تفاعل مواد تحويها كريات الدم الحمر وتعرف بمولدات الملزونات أو الأنتيجينات (Antigens) مع مواد أخرى توجد في مصل (Serum) الدم وتسمى الملزونات أو الأجسام المضادة (Antibodies) . ولما كان التركيب الكيميائي للدم يعد من الصفات المتوارثة في الإنسان فإن نوع الانتيجينات المتكونة في كريات الدم الحمر يخضع لسيطرة جينات الليالية متعددة . وقد وجد نوعان من الأنتيجينات في الفصائل المختلفة من دم الإنسان ، يرمز لأحدهما بالرمز (أ) وللآخر بالرمز (ب) ، وهما يوجدان في فصائل الدم المختلفة إما منفردين (أ أو ب) أو مجتمعين معا (اب) أو لا يوجدان على وجه الإطلاق .

وبحسب نوع الأنتيجين الموجود أو غيابه ، قسم لاندشتاينر فصائل الدم البشرية إلى الأقسام الأربعة الآتية :

(١) فصيلة أ (Group A) : لا تحتوي فيها كريات الدم الحمر إلا على أنتيجين (أ) .

(٢) فصيلة ب (Group B) : لا تحتوي فيها كريات الدم الحمر إلا على أنتيجين (ب) .

(٣) فصيلة ا ب (Group A B) : تحتوى فيها كريات الدم الحمر على كل من أنتيجين (١) و أنتيجين (ب) .

(٤) فصيلة و (Group O) : لا توجد فى كريات الدم الحمر أى من هذين الأنتيجينين على وجه الإطلاق .

وفى كل فصيلة من فصائل الدم سائلة الذكر ، يتوقف نوع الأجسام المضادة (أو المادة التى تتفاعل مع كريات الدم وتسبب تجمعها) الموجودة فى المصل على طراز الأنتيجين الموجود فى كريات الدم ؛ وهما يوجدان معا فى نفس فصيلة الدم بحيث لا يحدث بينهما تفاعل ينتج عنه تجمع الكريات وإنسداد الأوعية الدموية . ويوجد نوعان من الأجسام المضادة هما «ا» (A-Antibodies) و «ب» (B-Antibodies) ، ويوجد أجسام مضادة (ب) فى مصل دم الفصيلة (١) مصاحباً للأنتيجين (١) ، كما يوجد أجسام مضادة (١) فى مصل دم الفصيلة (ب) مصاحباً للأنتيجين (ب) . ومن ثم فليس هناك تفاعل - ينتج عنه تجمع كريات الدم - بين الأنتيجين (ب) والأجسام المضادة (١) من جهة ، وبين الأنتيجين (١) والأجسام المضادة (ب) من جهة أخرى ، ولكن يحدث مثل هذا التفاعل عند اجتماع كل من الأنتيجين (١) والأجسام المضادة (١) أو أنتيجين (ب) والأجسام المضادة (ب) أما الفصيلة (ا ب) فلا يحتوى مصل الدم فيها على أجسام مضادة على وجه الإطلاق بسبب احتواء كريات الدم على الأنتيجينين (١) و (ب) . وعلى العكس من ذلك تحتوى مصل دم الفصيلة (و) على الأجسام المضادة (١ ، ب) بسبب خلو كريات الدم فيها من أى نوع من الأنتيجينات . ويبين (جدول ٣٨) الفصائل المختلفة من الدم ، وتوزيع أنواع الأنتيجينات والأجسام المضادة بين الفصائل المختلفة .

يتبين مما سبق أنه لا بد من دراسة فصائل دم الأفراد المنقول منهم ولإلهم الدم قبل إجراء عمليات النقل ، حتى لا يحدث تفاعل - أو تجمع لكريات الدم - مما قد يسبب حدوث مضاعفات خطيرة أو يؤدى بالشخص

(جدول ٣٨)

فصائل الدم - وما تحتويه كل فصيلة من أنتيجين وأجسام مضادة - ونتائج تفاعلها مع أمصال دم فصائل (١) أو (ب) ، ويرمز للتفاعل الناتج عنه تجميع كريات الدم الحمر بالرمز + ولعدم التجميع بالرمز (-) .

تفاعل مع مصلى :		الأجسام المضادة	الأنتيجين	فصيلة الدم
فصيلة (ب)	فصيلة (١)			
أجسام مضادة أ	أجسام مضادة ب			
(+)	(-)	(ب)	[١]	[١]
(-)	(+)	(١)	[ب]	[ب]
(+)	(+)	(لا يوجد)	[١] و [ب]	[أ ب]
(-)	(-)	(١ ، ب)	[لا يوجد]	[و]

المنقول إليه الدم إلى الموت ، ويحدث هذا إذا نتج عن عملية نقل الدم إجماع أنتيجين (١) مع أجسام مضادة (١) أو إجماع أنتيجين (ب) مع أجسام مضادة (ب) ، فإذا ما نقل دم من شخص من الفصيلة (١) وحقن به أفراد آخرون من فصيلتي (١) أو (أ ب) فلا تحدث مضاعفات ضارة بسبب غياب الأجسام المضادة (١) في جميع الحالات ، أما إذا نقل دم نفس الشخص الأول (فصيلة ١) لحقن أفراد من الفصائل (و) أو (ب) فإن الأفراد المنقول إليهم الدم قد يموتون بسبب تجميع كريات الدم الحمر في كتل صغيرة توقف الدورة الدموية . وبالمثل يمكن نقل الدم من أشخاص من الفصيلة (ب) لحقن آخرين من الفصائل (ب) أو (أ ب) ، ولكن ليس لأفراد من الفصيلتين (و) أو (١) . ويمكن نقل دم أشخاص من الفصيلة (و) لحقن أفراد من الفصائل (١) أو (ب) أو (أ ب) ، وذلك بسبب خلو كريات دم الفصيلة (و) خلوا تاما من أى نوع من الأنتيجينات ، ومن ثم فلا يحدث تجميع للكريات بسبب الأجسام المضادة الموجودة في هذه الفصائل الثلاث أما دم فصيلة (أ ب) فلا يمكن نقله إلا إلى أفراد من نفس نوع فصيلة الدم . وتعزى الفصائل المختلفة للدم إلى تأثير العوامل الوراثية الأليلية المتعددة (Multiple alleles) ، على نفس المنوال الذى سبق شرحه في حالة اخضرار

واصفرار الأوراق في الفول ، حيث يوجد عامل متنح واحد يقابله عدة عوامل سائدة في الموقع الصبغي للصبغين المتماثلين . فهناك عامل وراثي متنح - مسئول عن غياب الأنتيجينات في الفصيلة (و) ولنرمز له بالرمز (ج) يقابله عاملان سائدان ، أحدهما مسئول عن تكوين أنتيجينات (ا) ولنرمز له بالعامل الوراثي (ج (ا)) والآخر مسئول عن تكوين أنتيجينات (ب) ولنرمز له بالعامل (ج (ب)) ، ومن ثم فيمكن تمثيل الطرز الجينية (Genotypes) والمظهرية (Phenotypes) لفصائل الدم المختلفة كالآتي (جدول ٣٩) :

(جدول ٣٩)

الطرز المظهرية والجينية لفصائل الدم المختلفة

الطرز المظهرية	الطرز الوراثية	فصيلة الدم
(ج (ا))	(ج (ا) ج (ا)) (ج (ا) ج)	(ا)
(ج (ب))	(ج (ب) ج (ب)) (ج (ب) ج)	(ب)
(ج (ا) ج (ب))	(ج (ا) ج (ب))	(ا ب)
(ج)	(ج ج)	(و)

ويتبين من هذا الجدول أن فصيلة الدم (ا ب) ناتجة عن وجود العاملين السائدين - المتضادين مع العامل المتنحي (ج) - معاً في نفس كريات الدم وهما : (ج (ا)) و (ج (ب)) .

وتستخدم تحليلات فصائل الدم في القضايا المتصلة ببنوية مشكوك في أبوتها ، فتحلل دماء الأب والأم والطفل لتعيين فصيلة الدم التي ينتمي إليها كل منهم ، ومن ثم فيمكن تعيين فصائل الدم المحتملة للأبناء كما هو مبين في (جدول ٤٠) .

فصائل دم الأبقار	الطون الوائنية لفصائل دم الأبقار	فصائل دم الأبقار
جميع الفصائل (و) (أ) د د (و) ١ : (و) ١ جميع الفصائل (ب) (و) ١ : (و) ١ (أ) ١ : (أ) ١	(ج ج) x (ج ج) (ج ج) x (ج ج) (ج ج) x (ج ج) (ج ج) x (ج ج) (ج ج) x (ج ج) (ج ج) x (ج ج)	(و) x (و) (و) x (و) (و) x (و) (و) x (و) (و) x (و) (و) x (و)
جميع الفصائل (أ) (أ) ١ : (أ) ١ جميع الفصائل (ب) (أ) ١ : (أ) ١ (أ) ١ : (أ) ١ (أ) ١ : (أ) ١ (أ) ١ : (أ) ١ (أ) ١ : (أ) ١	(ج ج) x (ج ج) (ج ج) x (ج ج) (ج ج) x (ج ج) (ج ج) x (ج ج) (ج ج) x (ج ج) (ج ج) x (ج ج) (ج ج) x (ج ج)	(أ) x (أ) (أ) x (أ) (ب) x (ب) (أ) x (أ) (أ) x (أ) (أ) x (أ) (أ) x (أ)
جميع الفصائل (ج) (أ) ١ : (أ) ١ (أ) ١ : (أ) ١ (أ) ١ : (أ) ١	(ج ج) x (ج ج) (ج ج) x (ج ج) (ج ج) x (ج ج) (ج ج) x (ج ج)	(ب) x (ب) (ب) x (ب) (ب) x (ب) (ب) x (ب)
(أ) ١ : (أ) ١ (أ) ١ : (أ) ١ (أ) ١ : (أ) ١	(ج ج) x (ج ج) (ج ج) x (ج ج) (ج ج) x (ج ج)	(ب) x (ب) (ب) x (ب) (ب) x (ب)

وفي عمليات نقل الدم في المستشفيات تستعمل طريقة بسيطة لتعيين فصيلة الدم قيد الاختبار ، ويمكن تلخيصها كما يأتي : تحفظ باستمرار أمصال دم من فصيلة (أ) وأخرى من فصيلة (ب) ، وعند فحص الدم المختبر تحضر شريحتان زجاجيتان ، توضع على إحدهما كمية قليلة من مصل دم فصيلة (أ) وتوضع على الأخرى كمية مساوية من مصل دم فصيلة (ب) ، ثم تضاف نقطة

من الدم المختبر إلى كل من المصلين . فإذا لم يحدث تجميع لخلايا الدم في كلتا الحالتين كان الدم المختبر منتمياً إلى الفصيلة (و) ، أما إذا سبب مصل فصيلة (ب) تجميعاً لخلايا الدم ولم يستطع مصل فصيلة (ا) فإن الدم المختبر يكون من الفصيلة (ا) ، وإذا حدث العكس - أى سبب مصل (ا) تجميع خلايا الدم المختبر وعجز عن ذلك مصل (ب) - فإن الدم المختبر يكون من الفصيلة (ب) ، أما إذا سبب كل من المصلين تجميع خلايا الدم المختبر كان الأخير منتمياً للفصيلة (ا ب) . كما هو مبين في (شكل ٤٢٤).

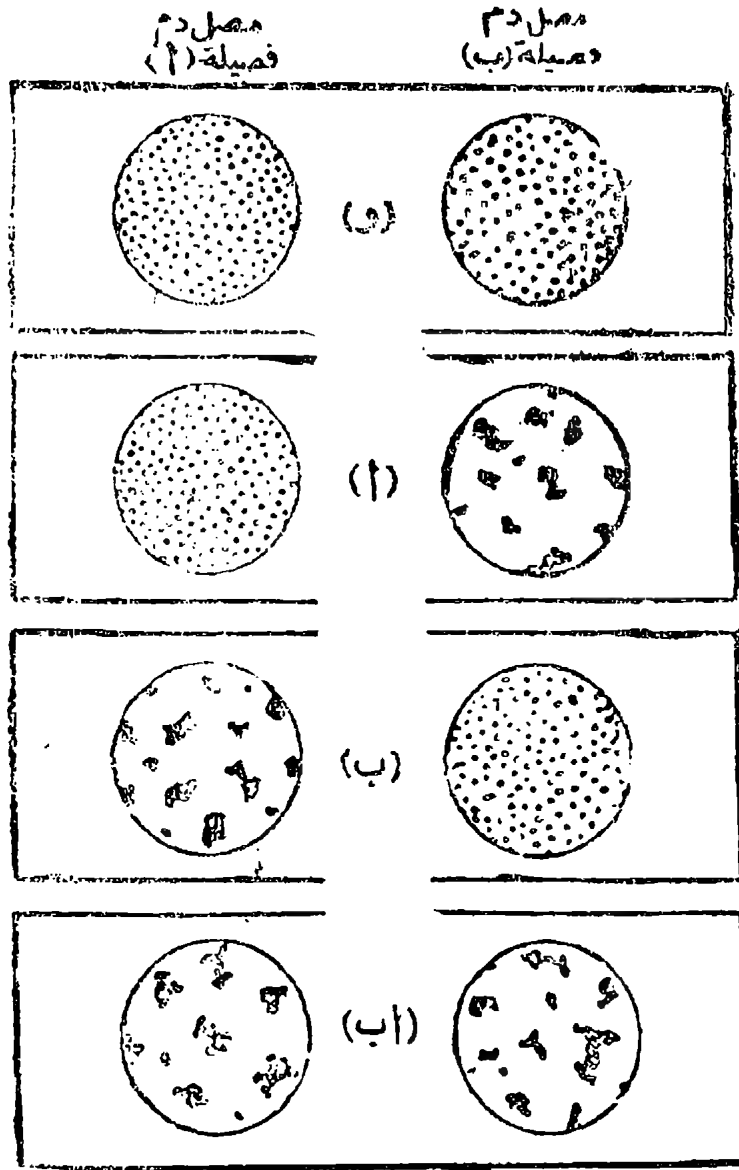
ومما يلاحظ أن فصيلة (و) يمكن نقل دم منها إلى أى شخص دون أن يسبب ذلك أى تجميع أو التصاق للكريات ، ولذلك يسمى الشخص التابع لها بالمانح العام (Universal donor) ، كما يلاحظ أن الفصيلة (ا ب) يمكنها أن تأخذ الدم من أية فصيلة أخرى دون أن يحدث فيها أى تلازن لكريات الدم الحمر ، ولذلك يسمى الشخص التابع لها بالمستقبل العام (Universal recipient).

وضرر التلازن أن الكريات الحمر عندما تتجمع وتلتصق ببعضها البعض تتحطم ولا تستطيع الكلى أن تفرزها ، ولذلك ينهى الأمر بالرفاة . ويعتبر نقل الدم في العصر الحاضر من الأهمية بمكان ، ولذلك أنشئت بنوك الدم لتتولى أمره . ولا يكاد يخلو مستشفى من دماء محفوظة استعداداً لنقلها إلى أشخاص أملت بهم حوادث فنزفت دماؤهم أو إلى مرضى بفقر الدم أو غير ذلك . وفصيلة الدم صفة متوارثة ، أى يرثها الفرد عن أبويه .

تحت فصائل من مجموعة « ا ب » :

أظهرت الابحاث الحديثة أن كلا من فصيلتي الدم (ا) و (ا ب) تحتوى على تحت مجموعتين (Sub-groups) أو أكثر ، إذ دلت بعض النتائج على أن دم بعض الافراد المنتمين للفصيلة (ا) إذا أضيف إلى مصل دم فصيلة (ب) عجز المصل الأخير على تجميع خلاياه ، بينما يستطيع نفس المصل تجميع خلايا دم أفراد آخرين من الفصيلة (ا) ، مما يدل على أن هناك نوعين من الأنتيجينات (ا) : يرمز لاحدهما بالرمز (١) وللآخر بالرمز (٢) ، كما

(شكل ٤٢٤)



طريقة تعيين الفصيلة التي ينتهي إليها دم بحول الفصيلة ، حيث نوضح نقطتان من مصل دم (أ) على شريحة زجاجية ونقطتان من مصل دم (ب) على شريحة أخرى، ثم يضاف إلى كل منهما قليل من الدم المختبر، وعلى حسب تجميع كريات الدم الحمراء أحد المصلين أو كليهما أو عدم تجميعها على وجه الإطلاق يمكن تعيين فصيلة الدم المختبر وذلك كما هو مبين بالشكل (عن شول) .

يرمز للعوامل الوراثية المسئولة عن تكوينها بالرمزين (ج ١) و (ج ٢) .
وتوجد بالمثل تحت مجموعتين من الفصيلة (أ ب) يرمز لها بالرمزين (أ ب)
و (أ ب) . وللعوامل الوراثية المسئولة عن تكوين الأنتيجينات فيهما
بالرمزين : (ج ١) ج (ب) و (ج ٢) ج (ب) .

فصائل دم أخرى :

اكتشف العالمان لاندشتير وليفين (Landsteiner & Levine)
أنتيجينين آخرين في خلايا الدم الأحمر - بجانب (أ) و (ب) - أطلق عليهما
الرمزان «م» (M) و «ن» (N) . ولا يعدان طبييا في مثل أهمية (أ) و (ب)
بسبب خلط مصل دم الإنسان بوجه عام من أية مواد - أو أجسام مضادة -
تعمل على تجميع خلايا الدم المحتوية عليهما . ومن ثم فلم يكتشفا إلا عند حقن
دم الإنسان في أوردة بعض الحيوانات - كالأرانب مثلا - حيث يكون في
مصل دمها مواد مضادة تستجابه لوجودهما ، ثم التأكد من ذلك بتعريض المصل
المضاد لبعض الاختبارات ، وبمثل هذه الطريقة أمكن استكشاف ما إذا كان
دم الإنسان المختبر يحتوي على الأنتيجينين (م) و (ن) ؛ أحدهما أو كليهما .
وقد دلت نتائج هذه الاختبارات على أن أفراد بني الإنسان يمكن تقسيمهم
إلى ثلاث مجموعات بالنسبة للأنتيجينين (م) و (ن) :

(أ) أفراد الفصيلة (م) ، حيث يكون الفرد متشابه التركيب الوراثي
بالنسبة للعامل الوراثي المسبب لتكوين أنتيجين (م) .

(ب) أفراد الفصيلة (ن) ، حيث يكون الفرد متشابه التركيب الوراثي
بالنسبة للعامل الوراثي المسبب لتكوين أنتيجين (ن) .

(ج) أفراد الفصيلة (م ن) ، حيث يكون الفرد متباين التركيب الوراثي
بالنسبة للعوامل الوراثية المسببة لتكوين الأنتيجينين (م) و (ن) .

ولا يرتبط توزيع الأنتيجينين (م) و (ن) بأي حال من الأحوال بتوزيع
فصائل الدم الأربع من مجموعة (أ ب) .

والعاملان الوراثيان المسببان لتكوين الأنتيجينين (م) و (ن) يعدان عاملين متضادين ، حيث لا توجد عوامل الليلية متعددة كما هو الحال في مجموعة الدم (اب) ، بسبب عدم وجود فصيلة دم رابعة - تماثل فصيلة (و) في مجموعة (اب) - وتكون خالية خلواً تاماً من الأنتيجينين (م) و (ن) .

العامل الريزيسى (Rhesus or Rh factor) :

لا تقتصر فصائل الدم على المجموعتين (اب) و (م ن) - اللتين سبق وصفهما بالتفصيل - بل توجد مجموعة أخرى اكتشفت مصادفة ، وذلك عندما وجد كثير من العلماء أن دم القرد الريزيسى (Rhesus monkey) يحتوى على أنتيجين يستحث مصل دم الأرنب لتكون أجسام مضادة له عند حقن دم هذا النوع من القروء في الأرانب ، وعندما فصل هذا المصل المتضاد من الأرانب المحقونة وخلط مع دم الانسان تجمعت كرات الدم الحمر للإنسان في حوالى ٨٧٪ من الحالات ، مما يدل على احتواء دم الانسان على نفس الأنتيجين الموجود في هذا النوع من القروء ، ومن ثم سمي العامل الوراثي المسئول عن تكوين هذا الأنتيجين في الانسان بالعامل الريزيسى ، لوجوده في القرد الريزيسى والانسان على السواء . ويعرف الأشخاص الذين يكون فيهم العامل الريزيسى سائداً - لتكوين الأنتيجين - بموجبي العامل الريزيسى (Rh - positive) ، أما الذين يفتقرون اليه - ومن ثم يتميز دمهم بغياب الأنتيجين - فيعرفون بسالبي العامل الريزيسى (Rh-negative) ، ويكون هذا العامل عندهم متنحياً ، ويتمثل هذا العامل الوراثي بصفات متضادة متعددة - تبلغ الثمانية - مما يزيد كثيراً في عدد فصائل الدم في الإنسان .

وقد دلت الدراسات على التوائم وحيدة اللاقحة على وراثة هذا العامل ، إذ قام المـالمان ستراندسكوف وديديرش (Strandskov & Diederich) بفحص حالة ٥٣ زوجاً توأمياً وحيد اللاقحة ، فوجدوا أن كل زوج توأمي يتشابه تماماً من حيث وجود هذا العامل أو غيابه ، فمنهم ٤٥ زوجاً توأمياً موجبي العامل الريزيسى وثمانية أزواج سالبي العامل الريزيسى .

ودلت الدراسات الوراثية في عدة عائلات على أن وجود الأنتيجين الريزيسى مرتبط بعامل سائد معين يرمز له بالحرف (R)، وأن غياب هذا الأنتيجين ناتج عن عامل مضاد ومتنحي (r). واكتشف مرض يصيب جنين الإنسان ويسبب موته - يعرف بمرض انحلال كرات الدم الحمراء للجنين (Erythroblastosis foetalis) - في حالات خاصة من الزيجات يكون فيها الأب موجب العامل الريزيسى متشابهة اللاقحة له والأم سالبة بالنسبة إليه ، أى أن دم الأم لا يحتوى على الأنتيجين الريزيسى ، بينما يحتوى دم الأب على هذا الأنتيجين ، ومن ثم يكون الطراز الجيني لكل جنين ناتج عن تزاوجهما هو «Rr» ، ولذلك يحتوى دم جميع الأجنة على الأنتيجين الريزيسى . ويتسبب المرض عن تسرب دم الجنين المحتوى على الأنتيجين خلال المشيمة إلى دم الأم ذى العامل الريزيسى السالب ، ويستحث هذا الأنتيجين دم الأم لتكوين أجسام مضادة له ، ويتسرب هذا بدوره خلال المشيمة إلى دم الجنين ، ويعمل على تجميع كرات الدم الأحمر مما يسبب موت الجنين .

ولا يعنى الاختلاف بين الأب والأم - من حيث إيجابية دم الأب وسلبية دم الأم للعامل الريزيسى - دوام حدوث مرض انحلال الدم في الجنين ، بل كثيراً ما يسلم أول الأطفال المولودين من هذا المرض الخطير ، حيث يعجز أنتيجين الجنين عن استحداث كمية كافية من الأجسام المضادة في دم الأم يعمل بدوره على تجميع دم الجنين . إلا أنه يعمل على زيادة حساسية دم الأم بالتدريج لهذا الأنتيجين - والاستجابة له بتكوين الأجسام المضادة - بحيث تكون أجنة الأطفال الذين يأتون من بعده أكثر احتمالاً للإصابة بهذا المرض المميت . غير أن هذه الظاهرة قد أمكن السيطرة عليها طبيياً بإعطاء الأم أدوية معينة لمقاومة تكوين الأجسام المضادة .

الباب السابع والأربعون

الهندسة الوراثية

(Genetic Engineering) .

تقدمت العلوم الوراثية تقدماً كبيراً بعد ما كشفته الوراثة الجزيئية من طبيعة المادة الوراثية ووظيفتها ، وخطوات تصنيع البروتين في الخلية وفي المعمل . وقد أدت هذه المعلومات الوراثية إلى تكنولوجيات جديدة تضع حلولاً لمشاكل قائمة مثل العقم والأمراض وإنتاج الغذاء والتخلص من القمامة وتحسين نوع الكائنات الحية . ويطلق على هذه التكنولوجيات « الهندسة الوراثية » وتتضمن اتحادات جديدة لجزيئات المادة الوراثية DNA وذلك باستخدام تقنيات بيوكيميائية ووراثية تؤدي إلى تغيير المادة الأساسية للخلية . فبوسائل الهندسة الوراثية يمكن فصل أجزاء من جزيء الـ DNA وإعادة ترتيبها ونقلها من خلية إلى أخرى ، ومن ثم يمكن إحداث تغييرات في المجموع الوراثي ليس من المحتمل أن تتم من خلال العمليات العادية .

والهندسة الوراثية لا زالت في مرحلة التجربة ، إلا أنها تقدم فوائد محتملة عظيمة . فعلى سبيل المثال أدت مزارع بكتيرية بعد تكوين اتحادات معينة في جزيئات الـ DNA إلى إنتاج إنسيولين بشري ، وإلى تكوين مادة مضادة للفيروسات أطلق عليها إنترفيرون (Interferon) . وفي مجال الزراعة اختبرت اتحادات جديدة لجزيئات DNA الخاصة بنبات الذرة قصد منها زيادة إمكانية مقاومة النبات للجفاف وللمرض .

وسنتناول بالشرح فيما يلي بعض تجارب وتقنيات الهندسة الوراثية وتطبيقاتها المحتملة والرأي العام فيها :

إنتقال البلازميدات في البكتيريا (Plasmid Transfers In Bacteria) :

إن معظم البحوث التي تتضمن نقل أجزاء من DNA أو الجينات قد

أجريت على البكتيريا . ففي البكتيريا توجد المعلومات الوراثية في جزئ واحد كبير من الـ DNA يمثل كروموسوم الخلية البكتيرية . وحيث أن البكتيريا تتكاثر لا جنسياً ، فإن المعلومات الوراثية تبقى دون تغيير لعدة أجيال . وتوجد في البكتيريا أجزاء حلقية من الحمض النووي DNA منفصلة عن الكروموسوم الرئيسي ويطلق عليها بلازميدات (Plasmids) تحمل غالباً جينات تكسب البكتيرة مناعة ضد المضادات الحيوية .

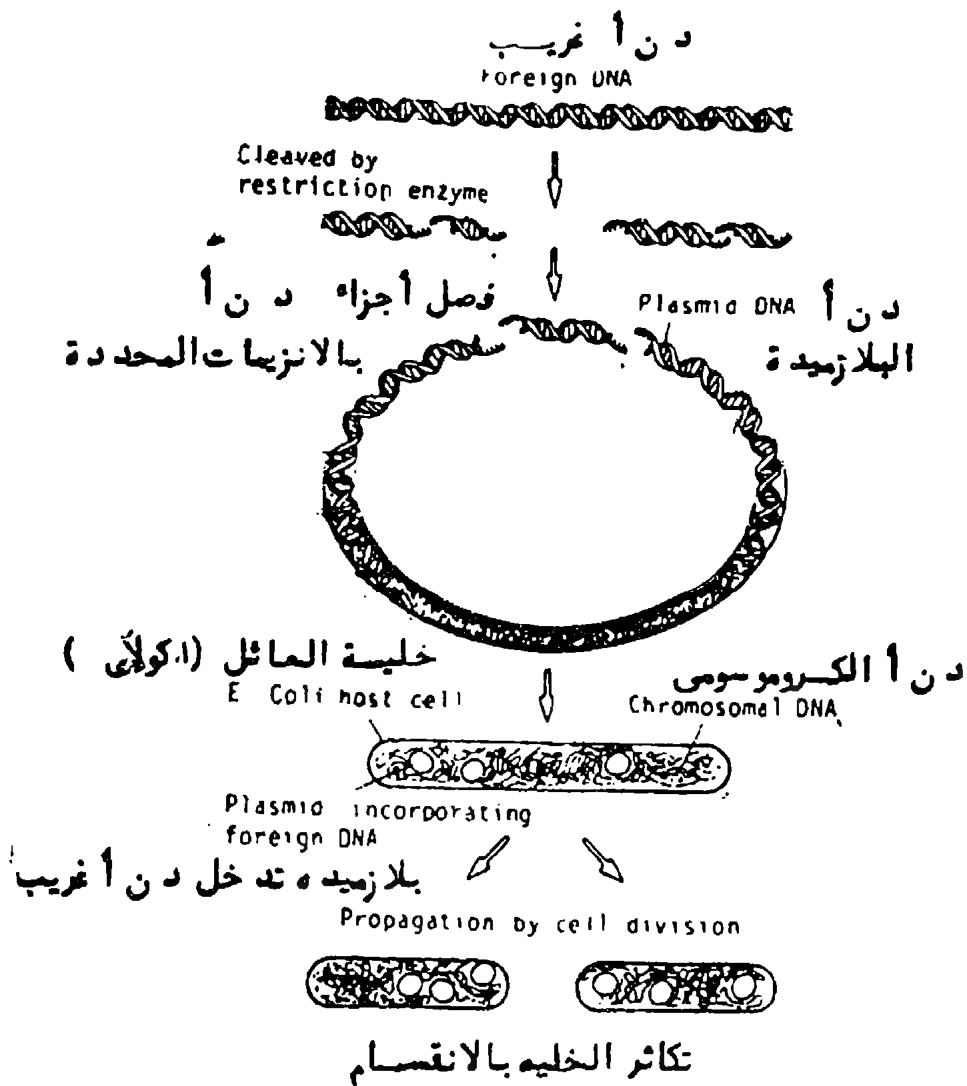
ويمكن لهذه البلازميدات أن تنتقل من خلية إلى أخرى ، فعلى سبيل المثال تعد الإشريشيا كولاي (*Escherichia coli*) بكتيرة غير ضارة توجد بصفة عامة في القناة الهضمية للإنسان . وتحتوى بعض هذه البكتيريا على بلازميدات عليها جينات تقاوم المضاد الحيوى تتراسيكلين ، بمعنى أن المواد الشفوية للجينات هي التي تتداخل بيوكيميائياً مع فعل التتراسيكلين . هذه البلازميدات ، التي يطلق عليها عوامل مقاومة ، يمكن أن تنفصل بسهولة من DNA الكروموسوم الرئيسي . أما خلايا *E. coli* غير المقاومة للتتراسيكلين - أي التي تهلك في وجوده - فيمكنها أن تستقبل بلازميدات العوامل المقاومة بمعاملتها كيميائياً لتصبح منفذة لبلازميدات من خلايا أخرى . وهذه الخلايا التي اكتسبت بلازميدات العوامل المقاومة تعيش على وسط غذائي يحتوى التتراسيكلين على حين تموت الخلايا غير المقاومة . وتنقسم كل خلية مقاومة لعدة أجيال مكونة مجموعة من الخلايا يطلق عليها اسم فسيلة (Clone) وخلاياها تشبه الخلية الأصلية التي تكونت منها لاجنسياً . ويتكاثر جزئ البلازميدة في كل خلية ، ومن ثم يمثل الظاهرة التي يطلق عليها أحياناً اسم الاستزراع الجزيئي (Molecular cloning) .

إتصال البلازميدات (Joining Plasmids) :

ويمكن للبلازميدات أن تنفصل إلى قطع صغيرة من الـ DNA ، ثم تتحد القطع مع بعضها البعض وتدخل الخلايا . وقد يكون الاتحاد بين أجزاء تكون DNA من نفس النوع أو من نوع مختلف تماماً .

وحيث أن DNA البلازميدة عبارة عن جزئ حلقى مغلق فإنه يجب أولاً أن يفتح بطريقة ما تسمح للنهايات الممزقة أن تتفاعل كيميائياً حتى يتم الاتصال بينها . وقد يتم القص بطريقة ميكانيكية أو بفعل إنزيمات مختلفة تعرف بالنيوكلييزات (Nucleases) . أما أجزاء الـ DNA فيتم اتصالها بواسطة إنزيمات بناء من شأنها إصلاح أجزاء الـ DNA وربط نهاياتها المفككة في خيط واحد (شكل ٤٢٥) . وهذه الطريقة يمكن لبلازميدات من سلالة بكتيرية

(شكل ٤٢٥)



خطوات في تقنيات الهندسة الوراثية تتضمن ادخال جزء من DNA (د ن أ غريب) في بلازميدة أو فيروس ثم ما يتبع ذلك من تكاثرها في عائل مناسب بالانقسام الخلوي (عن كامبل وسميث ١٩٨٤)

١. كولاى المقاومة للترانسبيكين أن تتصل ببلازميدات من سلالة تقاوم مضاد حيوى آخر مثل الكانوميسين (Kanomycin) ومن ثم تنتسخ سلالة من ١. كولاى تقاوم كلا من المضادين الحيويين .

والبلازميدات المأخوذة من نوع مختلف من البكتيريا مثل الستافيلوكوكس أورياس (*Staphylococcus aureus*) لا يمكن بحالتها أن تتكاثر فى ١. كولاى. أما البلازميدات الهجينة الناتجة عن اتحاد جزء من بلازميدة الستافيلوكوكس مع جزء من بلازميدة ١. كولاى فيمكن أن تزدهر فى بكتيريا الكولاى . وقد أجريت تجارب اتحدت فيها بلازميدات من الستافيلوكوكس المقاومة للبنسلين مع بلازميدات من الكولاى المقاومة للترانسبيكين ، ثم أدخلت البلازميدات الهجينة فى خلايا الكولاى فتتجبت سلالة منها مقاومة لكل من البنسلين والترانسبيكين . هذه التجربة التى تتضمن انتقال معلومات وراثية بين كائنات مختلفة يمكن أن تؤدى إلى إمكان إدخال جزيئات من DNA من كائنات معقدة راقية وتكاثرها واستنساخها فى عوائل بكتيرية .

انتقال الجينات الحيوانية (Transferring Animal Genes) :

أول الجينات الحيوانية التى نقلت إلى البكتيريا كانت من ضفدع (*Xenopus laevis*) ، وقد درست هذه الجينات بعناية بحيث يمكن التعرف عليها . وعند اتحادها ببلازميدات من بكتيرة ١. كولاى المقاومة للترانسبيكين وتكاثرها فيها فإن مجموعة الخلايا الناتجة احتوت على ال DNA الخاص بالضفدع والبكتيريا ، وهذا ال DNA الهجين يمكن تكاثره لمئات الأجيال .

ولكى يكون للجينات تأثير على صفات كائن ما فإنها لا بد أولاً أن تستنسخ إلى الحمض النووى الريبوزى RNA الذى يترجم عندئذ إلى بروتينات بها هرمونات . وفى التجارب التى سبق شرحها لم ترجم جينات الحيوان إلى بروتينات . غير أن الجينات يمكن الآن تكوينها وإدخالها فى البكتيريا لإنتاج بروتينات الإنسولين والإنترفيرون وهرمون النمو البشرى وهرمونات المنع

سوماستاتين (Samostatine) وبيتا - اندورفين (Beta - endorfin) ويمكن للمزارع البكتيرية أن تنتج كميات كبيرة من الهرمونات والأجسام المضادة التي تستخدم في علاج الإنسان والحيوان . كما يمكن أيضاً باستخدام الجينات المؤلفة تكوين بروتين محور أو جديد . وبالإضافة إلى ذلك يمكن بهذا النوع من المعالجة الباردة للجينات تكوين خلايا بكتيرية لها نفس فائدة البنيسليام الذي يستخدم في تصنيع المضاد الحيوى « البنيسلين » .

التطبيقات المحتملة (Potential Applications) :

الإنترفيرون بروتين يتكون طبيعياً لمحاربة الإصابة الفيروسية ويأمرس الآن كعلاج ممكن للسرطان . وهو يتكون بكميات ضئيلة في جسم الإنسان ، أما باستخدام طرق الاتحادات الجديدة لجزئ الـ DNA مع قطع الـ DNA البكتيرى أمكن تكوين كميات كبيرة نسبياً من الإنترفيرون في المزارع البكتيرية . وبالمثل فإن هرمون النمو البشرى الذى يعتبر علاجاً لمرض الطفولة المعروف بالتقزم النخامى يمكن أن يتكون في البكتيريا بكميات كبيرة تفوق ما يتكون منه في الطبيعة . وقد يصبح الإنسولين البكتيرى عظيم الأهمية في معالجة مرض السكر . وفي استخدام آخر لأسلوب الاتحادات الجديدة لجزئيات الـ DNA أمكن باستخدام البكتيريا المهندسة وراثياً التخلص من فضلات السفن من الزيوت المنسكبة على مياه البحار والمحيطات .

وفي مجال الزراعة تجرى محاولات لنقل جينات البكتيريا المثبتة للنيتروجين التي تحول النيتروجين الجوى إلى مركبات نيتروجينية صالحة للاستعمال إلى بكتيريا أخرى ، وبذلك يتوقع أن تنتفى الحاجة ذات يوم إلى المخصبات النيتروجينية التي تستخرج حالياً من البترول بتكاليف باهظة .

أما استخدام خلايا حيوانية كعوائل لاتحادات الـ DNA الجديدة فإن هدفها الأساسى هو شفاء الأمراض ذات الأصل الوراثى في الإنسان . ويمكن للوصول إلى مثل هذا الهدف أن تزال بعض الخلايا المسببة لمرض ما في

الإنسان ثم نقل جينات عادية لتحل محل قطع الـ DNA الضارة في هذه الخلايا ثم العمل على إعادة هذه الخلايا المهندسة وراثيا إلى المريض ثانية حيث يؤدي ذلك إلى تكوين البروتينات التي يتطلبها شفاء المريض . ومن الواضح أن استعمال الهندسة الوراثية في الخلايا الحيوانية بهذا الأسلوب لا يؤدي إلى تغيير في المحتوى الوراثي ، لأن ذلك يتطلب نقل الجينات إلى خلايا الفرد الجنسية التي تنتج بدورها أمشاجاً تحتوي على التركيب الوراثي الجديد عندما تنتقل إلى النسل الذي سيشترك فيه .

وقد يتم تصحيح آثار الجينات المتسببة في المرض الوراثي عن طريق إمداد الأشخاص المرضى بالمادة الضرورية التي لا يستطيعون تكوينها . ولنأخذ مثلاً على ذلك مريض السكر الذي يرجع إلى فشل في تكوين الإنسولين . ويتكون الإنسولين في خلايا معينة في البنكرياس من إنسولين أولي يصنع تحت سيطرة سسترون يحتوي على ١٥٣ نيوكليوتيدة . ولما كانت خلايا الفرد تحمل كل المعلومات الوراثية كان معنى ذلك أن سسترون الإنسولين الأولي مكبوت كبتاً دائماً في الخلايا التي لا تكونه . وبالتالي يكون العلاج الوراثي هو إزالة كبت الجين حتى يستطيع أن يؤدي عمله . وتتقدم بالفعل حالياً معلوماتنا عن كبت الجينات في الكائنات الراقية .

ويتجه رأى العلماء في محاولة لتحسين الوراثي إلى اختيار تراكيب وراثية معينة والسماح لها بالتناسل دون غيرها . وقد نادى مولر عام ١٩٦٥ بإنشاء بنوك تقوم بتخزين أمشاح أفضل الرجال والنساء واستخدامها عند الحاجة . وتجري الآن بالفعل عمليات إخصاب صناعي في الإنسان ما زالت محدودة ولا زال الغرض منها مجرد الإنجاب - في العائلات التي لا تستطيع ذلك بالطريق الطبيعي - دون الاهتمام بالتراكيب الوراثية للأب والأم .

وطرق الإخصاب الصناعي مختلفة ، وهي تفتح آفاقاً جديدة تماماً ، فقد أمكن منذ سنوات زراعة بيض منتخب مخصب أو غير مخصب في الإنسان ، كما نجح إدواردز (Edwards) وزملاؤه عام ١٩٧٠ في إخصاب بيض

إنساني في أنابيب اختبار وتوالت أبحاثهم بمولد أول طفل أنابيب عام ١٩٧٨ ، ويمكن بعد الإخصاب زرع اللاقحة في رحم الأم أو أى سيدة أخرى تعمل كحاضنة للجنين أو في رحم صناعي .

ومن الطرق الأخرى لانتخاب تراكيب وراثية معينة طريقة التكاثر اللاجنسي التي تؤدي إلى تكوين فسائل بشرية (Clones) خلاياها كلها ناتجة عن خلية واحدة وكلها متماثلة تماماً في التركيب الوراثي . ويمكن أن يتحقق هذا بزراعة خلايا جسدية في مزارع أنسجة ثم حثها على التشكل ، أو بإزالة نواة البويضة وإدخال نواة جسدية مكانها ثم زرع البويضة في رحم أنثى أو في رحم صناعي . وبطبيعة الحال تؤخذ النواة الجسدية من الشخص المراد تصنيع نسخ منه ، ويعتقد العلماء أن هذا سيصبح ممكناً قبل نهاية هذا القرن .

كذلك أوضحت البحوث الحديثة إمكانية زرع DNA فيروسى في خلايا بشرية ، وأن DNA هذا الفيروس يمكن أن يصبح جزءاً دائماً من المادة الوراثية للخلية ، وقد يمكن بمثل هذه الطريقة إدخال معلومات معينة في الخلايا البشرية .

هناك ، إذن ، احتمال نجاح تصنيع جينات تحمل معلومات لأى صفة تقريباً ثم تعبئتها داخل أغلفة بروتينية وإدخالها في الخلايا على أمل أنها تستطيع التعبير عن نفسها فيها بالطريقة العادية لتصنيع البروتين . وقد يأتى بعد ذلك الوقت الذى يصنع فيه كل الـ DNA وبالتالي تصنيع مخلوقات بصفات يسبق تحديدها . فهناك مثلاً من يرى كحل لمشكلة الغذاء أن تستخدم طرق الهندسة الوراثية ، إذا هى نجحت ، فى دمج جين يحمل معلومات لهضم السليولوز فى التركيب الوراثى للإنسان . كما قد يصبح من الممكن أيضاً التحكم فى الجينات المنظمة بحيث تجعلها تبدأ أو توقف التصنيع حسب الحاجة .

لكن إلى أين ؟ قدرات مذهلة ومخيفة لدرجة أن بعض البلدان الأوروبية وأمريكا تراقب بعناية شديدة أبحاث هندسة الوراثة وتضع قيوداً عليها ، فلا أحد يدرى ما قد تؤدي إليه هذه البحوث وخاصة فيما يتعلق بالتحكم الوراثى للإنسان حيث يثار الكثير من نقاط أخلاقية وقانونية ودينية .

دليل

micro-	دقيقة ١٣٢ ، ١٣٣	- i -	
anti-	مضادة ٢٩٨ ، ٤٠١	Abbé Nollet	آب نوليت ٧٤٧
A-antibodies	أ ١١٤٣	Leaf axil	إبط الورقة ٨٠
B-antibodies	ب ١١٤٣		ابن البيطار ١٠
	مجمعة ٣٣٤		ابن سينا ١٠
blocking antibodies		<i>Machaerium tipa</i>	أبو المكارم ٦٢٨
Genera plantarum	أجناس النبات ٦٤١	<i>Papaver somniferum</i>	أبو النوم ٦٦٣
	أحادى المجموعة الصغية ٤٧٣ ، ٤٩٢		أبو بكر الرازى ٧
Haploid	١٠٦٦ ، ٥٢٤	<i>Abutilon sinensis</i>	أبو تيلون ٦٨٤
	أحاديات السكر ٤٧٦ ، ٩٢٠	<i>Tropaeolum</i>	أبو خنجر ٨٣ ، ١٨٤
Monosaccharides		Tadpole	أبو دنييه ٣٨٨
	أحادى المسكن ٤٣٥ ، ٥٨١ ، ٦١١	Apophysis	أبوفيس ٥٤٥
Monoecious			أبوسينه (فصيلة) ٦٩١ ، ٦٩٣
	أحادية محيطات الغلاف الزهرى ٦٤٤	Apocynaceae	
Monochlamydae		Paternal	أبوى ١٤١
	أحماض أمينية ١٣٥ ، ٣٦٦	Epidermophyton	إبيدروموفيتون ٥١١
Amino acids		<i>Atropa belladonna</i>	أتروبا بلادونا ١٥٥
fatty	دهنية ١٢٤	Atropin	أتروبين
organic	عضوية ١٥٦		أتروكاريس المشقوق ٦٦١
	فينوكسي الخليك ١٠١٦	<i>Atrocarpus incisa</i>	
phenoxy acetic		<i>Atriplex</i>	أثريپلكس ٧٦٤
<i>Avena</i> -test	اختبار شوفاني ١٠٠٤٣		اتصال البلازميدات ١١٥٤
	اختزال أميى ٩٤٠	Joining of plasmids	
Reductive amiration		Atkins	إتكنز ٧٨٤
Fertilisation	إخصاب ٥٢٤ ، ٦٢١	<i>Tamarix</i>	أثل ١٥٠
Adrenaline	أدرينالين ١٠٠٠ ، ١١٢١	Agar	أجار ٤٥١
Bleeding	إدماء ٧٨٥		أجروبا كاتيريام تيوميغيساثر ١٠١٥
	إدماج - تداخل ١٦٠ ، ١٠٠٨	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	
Intussusception			أجسام باراميلونية ٤٢٤
Guttation	إدماع ٧٨٥ ، ٨٢٠	Paramylon bodies	
Cuticle	أدمة ١٨٧ ، ٢١٦		جولجى ١٣٥ ، ٣٦٨
Edwards	إدواردز ١١٥٨	Golgi	

Aspartase	أسبارتيز ٨٤٢	أدينوسين ثلاثى الفوسفات ٣٤٧	
	أسبرجيلس ٤٧٣ ، ٤٨٠ ، ٥١٤	Adenosine triphosphate	
Aspergillus		ثنائى الفوسفات ٨٢٥	
	<i>giganteus</i> جيجانتيس ٥٢٠	diphosphate	
	<i>flavus</i> فلافس ٥٢٠	Adenine	أدينين ٣٩٨
	<i>fumigatus</i> فيوميغاتس ٥٠٩	Lysis	إذابة ٤٠٣
	<i>niger</i> نيجر ٩٧٥ ، ٩٧٤	Xylem archs	أذرع خشبية ٢١٧
Asplenium	أسبلينيام ٥٥٣	Stipules	أذنبات ٨١ ، ١٧
Aster	أستر ٥١٧	Ochrae	أذينة عمدية ٨٠
Helotism	استرقاق ٣٦٥	Orchids	أراشيد ٦٣٧ ، ١٤٦ ، ٤٩
Esterases	أستيريزات ٨٣٨	Vernalisation	ارتباع ١٠٢١ ، ٢١
	استزراع جزئى ١١٥٤	Arthrospira	أرثروسبير ٣٦٢
Molecular cloning		Arginine	أرجنين ٣٩٧ ، ٣٧٢
subculturing	متكرر ٢٨٩	Argyrea speciosa	أرجيريا ٣٩٦
Edema	استسقاء ١١٣٢		إردمان وشيور ١٠٠٤
Stamens	أسدية ٥٨٢ ، ٥٩٣	Erdmann and Shiewer	
	أسدية محيطها الخارجى مقابل البتلات ٦٧٨	Oryza sativa	أرز ٦٤٩
Obdiplostemonous			أرسطو ٩
Myrtiflorae	آسيات (رتبة) ٦٤٥	Aristolochia	أرسطولوخيا ٢٣٩
	آسية (فصيلة) ٦٤٥ ، ٦٨٥ ، ٦٨٦	Archegonium	أرشيغونة ٥٢٣
Myrtaceae		Archegoniatae	أرشيغونيات ٥٢٣
Vascular cylinder	أسطوانة وعائية ٢٠٦	Arnon	أرنون ٩٠٦
Ascobolus	أسكوبولس ٤٧٤ ، ٤٨٤	Erwina	إرونيا ٣٤٩
Taraxacum	أسنان السبع ١٨٥	Erythrasma	إريثرازما ٥١٣
Usnea barbata	أسنيا بارباتا ٥٢٢	Azide	أزايد ٨٦٨
Diarrhea	إسهال ٥١٨	Verticillaster	أزهار فى محيط واحد ٧٠٠
	أسواط ١١٦ ، ٢٨٣ ، ٢٩٧ ، ٣٠٣		أزواج العوامل الأليلية ١٤٠
Flagella	٤١٩	Pairs of allelomorphs	
Acetobacter	أسيوباكتر ٣٤٠	pit pairs	نقرية ١٥٩
suboxidans	سبأوكسيدانس		أزوتوباكتر ٣١٧ ، ٣١٩ ، ٣٤٢
	أشباه جذور ٤٦٧ ، ٥٣٠ ، ٧٨٠	Azotobacter	
Rhizoids		chroococcum	كروأوكوكم ٩٧٥
tuberculate	متدرة ٥٣٠		

اقتراف زاوى ١٩٦
 Phyllotaxis-leaf divergence
 إفيدرا فوجلأريس ١٥٥
Ephedra vulgaris
 إفيدرين ١٥٥
 Ephedrin
 أقاليم مدارية ٣٧٥
 Tropics
 أقحوان ٨٣ ، ٧١٥
Calendula
 مائى ٩٤
Ranunculus aquatilis
 أقحوانيات (زنب) ٦٤٣
 Ranales
 إكتوبلاست ٧٤٤
 Ectoplast
 أكتينوميست ٥٠٧
Actinomyces
 أكرومايسين ٥٢٢
Achromycin
 إكزيم ١١٣٢
 Eczema
 أكسين «ب» ١٠٠٣
 Auxin B
 أكسيديزات ٨٣٠
 Oxidases
 أكسيديز السيتوكروم ٨٣١
 Cytochrome oxidase
 الكاتيكول ٨٣١
 catechol oxidase
 عديد الفينول ٨٣١
 polyphenol oxidase
 أكلوبلازما ٢٧٢
Acholeplasma
 الاصفرار الأرقط ٩٦٣
 Speckled yellows
 الانقسام الميوزى الأول ١٠٦٣
 First meiotic division
 الثانى ١٠٦٣
 second meiotic division
 ألانيل - ألانين ٩٤١
 Alanine-alanine
 البلاءة والعى ١١٣٤
 Amaurotic idiocy
 ألبوجو ٤٦٠
Albugo
 بورتولاكى ٤٦٠
portulacae
 كانديدا ٤٦٠
candida

إشعاعات مؤينة ٣٩١
 Ionising irradiations
 أشعة نخاعية ٢٠٣
 Medullary rays
 أصيلة ٢٠٨
 original
 وعائية ٢٠٦
 vascular
 أشن ٤٢١ ، ٤٥٧ ، ٥٠١
 Lichens
 بازيدية غشائية ٥٠١
 hymenolichens
 زقية ٥٠١
 ascolichens
 شجرية ٥٠٢
 fruticose
 قشرية ٥٠١
 crustose
 ورقية ٥٠١
 foliose
 إشيريشيا كولاي ٣٠٦ ، ٣٢٤ ، ٣٤٩
 ٣٥٣ ، ٤٠٩ ، ١١٥٤
Escherichia coli
 أصباغ ٣٦٠
 Pigments
 أنثوسيانينية ١٤٦
 anthocyanin
 شبه كاروتينية ٣٦٠
 carotenoid
 فيكوبيلين ٣٥٨
 phycobilin
 اصفرارات فيروسية ٣٥٣
 Virus yellows
 أصل ٧٦١
 Stock
 الأوكسين ١٠٠٥
 auxin precursor
 إعاقه تنافسية ٨٢٩
 competitive inhibition
 لاتنافسية ٨٢٩
 non-competitive
 أعمدة وعائية جزئية ٥٥٦
 Meristemes
 إغريض ٤٠٨
 Spathe
 أغشية بلازمية ١٢٢
 Plasma membranes
 خارجية ١٢٢
 plasmalemma
 نقرية ١٥٩
 pit membranes
 أفانيزومنون ٣٦٤
 Aphanzomenon

العدد الصبغي الجسدى	Albumens	ألبومينات ٩٣٦
Somatic chromosome number	التحام سلاميات الأصابع ١١٢٨	
العوامل الأليلية المتعددة ١١٤٤	Symphalangy	
Multiple alleles	Syndactyly	التضاق الأصابع ١١٢٩
الكسندر فلمنج ٥١٥	Encephalitis	التهاب الدماغ ٤١٣
Alexander Flemming	pneumonia	رئوى ٥١٨
Materia Medica	meningitis	سحائي ٥١٨
المادة الطبية ٩	arthritis	مفصلى ١١٣٣
المرحلة القلادية أو البتوتين ١٠٦٣	osteomyelitis	نخاع العظام ٥١٨
Leptotene	الجيل البنوى الأول ١٠٣٦	
النسبة المئوية للذبول الدائم ٧٨٨	First filial generation	
Permanent wilting percentage	third filial g.	الثالث ١٠٣٧
Elodea	second filial g.	الثانى ١٠٣٦
Fibres	ألجينات ٤٥٢	
best or phloem f. ١٩٢	Aldolase	ألدوليز ٨٤٢
Oleosomes	Mimosa	الست المستحية ٦٣٨
اليوسومات ١٣٣	الطور الاستوائى الأول ١٠٦٤	
Emulsin	First metaphase	
إمالسين ١٥٤	الانفصال الأول ١٠٦٤	
Anterior	first anaphase	
أمامى ٥٩٤	الاستوائى الثانى ١٠٦٦	
أمانيتا موسكاريا ٤٩٩	second metaphase	
Amanita muscaria	الانفصال الثانى ١٠٦٦	
EMP	second anaphase	
٨٧٥ م ب	التمهيدى الأول ١٠٦٣	
Embden	first prophase	
إمبدن ٨٧٥	التمهيدى الثانى ١٠٦٦	
Ampedocles	second prophase	
أمبيدوكليس ١١٠٣	النهائى الأول ١٠٦٤	
امتدادات الخزم الوعائية ٢٣١	first telophase	
Bundle-sheath extensions	النهائى الثانى ١٠٦٦	
امتزاز - تجمع سطحى ٧٣٨٠ ، ٧٣٧ ، ٤٠٠	second telophase	
Adsorption	الحامل الرايزيسى ١١٥٠	
selective	Rhesus or Rh factor	
انتخابى ٧٣٩		
Water absorption		
امتصاص الماء ٧٨٠		
passive ٧٨٥		
غير المباشر (سلبي)		
direct		
مباشر ٧٨٤		
نشط أو أبيض ٧٧٥		
active or metabolic		
Tribulus alatus		
أم جريسه ٥٨		
Diseases		
أمراض		

epigeal	هوائى - فوق أرضى	mosaic	التبرقش ٤١٣
Fertilization tube	أنبوبة إخصاب ٤٦٢	environmental	بيئية ١٠١٨
hypanthium	تحتية ٦٥٥		نظرية جلدية ٥١١
stomatal	ثغرية ٨٠٨	dermatophytoses	
pollen	لقاح ٦٢١ ، ٥٨٦	eumycetes	فطرية حقيقية ٥٠٨
Tubiflorae	أنبوبيات (رتبة) ٦٩٥ ، ٦٤٥		نظرية شمعية ٥٠٨
Geotropism	انحناء أرضى ١٠١١	actinomycetous	
phototropism	ضوئى ١٠٠٩	hereditary	وراثية ١١١٨
	انتقال إلكترونى ضوئى ٩٠٣	Gametes	أمشاج ٤٤٧ ، ٤١٩ ، ١٤١
Photoelectron transport		micro-	صغيرة ٤٣٢ ، ٤٣١
	البلازميدات فى البكتريا ١١٥٣	macro-	كبيرة ٤٣٢ ، ٤٣١
Plasmid transfers in Bacteria			متباينة ٤٣٢ ، ٤٣٠
	الجينات الحيوانية ١١٥٦	hetero- aniso	
transferring animal genes		iso-	متشابهة ٤٣٠ ، ٤٢٦
transamination	أمينى ٩٤٠		أمصال مضادة للسموم ٣٣٤ ، ٣٣٣
resonance transfer	ترددى ٩٠٥	Antitoxin serums	
transduction	عبر وسيط ٣٢٨	Maternal	أمى ١٤١
	أنتوفى فان ليفنهوك ٢٨٦	Amygdalin	أميجدالين ١٥٤
Antony van Leeuwenhoch		Emil Fisher	إميل فيشر ٩٤١
Antigonon	أنتيجونون ٦٧	Amyloplasts	أميلوبلاستات ١٣٠
Antigens	أنتيجينات ١١٤٢	Amylopectin	أميلوبكتين ٩٣٠
Anthropology	أنثروبولوجيا ١١٢٦	Amylose	أميلوز ٩٣٠
	إنشاء أصابع الخنصر ١١٢٩	Amylase	أميلين ٨٢٤
Minor streblomicrodactyly			أنابيب إنبات ٤٨٩ ، ٤٩٠ ، ٤٩١
Anthocyanin	أنثوسيانين ١٢٧٠	Germ tubes	
Engler	إنجلر ٦٤٢	conjugation	تزاوجية ٤٣٧
Proteolysis	انحلال بروتينى ٣٤٢	sieve	غربالية ١٩٢
	كرات الدم الجمزاء ١١٥١	laticiferous	يتوعية ١٨٥
Erythroblastosis foetalis		Anabaena	أنابينا ٣٦٤ ، ٣٧٥
	أنحناء سالب ١٠٠١	cylindrica	سلندريكا ٣٦٥
Negative curvature		Anaximander	أناكسيماندر ١٠٠٢
	إندودرم (بشرة داخلية) ٢١٩	Germination	إنبات ٢٦
Endodermis		hypogeal	أرضى ٢٦
Endosperm	إندوسبرم ١٩		

permanent	مستديمة ١٧٠	mealy	دقيقى ٣٥
	وعائية (توصيلية) ١٩٢	horny	قرنى ٣٥
vascular; conducting;		Endospermic	إندوسبرمية ١٩
Insulin	إنسولين ١١٢٢	Gliding	انزلاق ٣٦٣
Fission	انشطار - انشقاق ٣٢٥	Enzyme	إنزيم
simple	بسيط ٣٢٥	aldolase	الألدوليز ٨٤٢
binary	ثنائى ٣٢٥		ديكاربوكسيليز الأكسالات ٨٤١
glycolysis	جليكولى ٨٧٢	oxalate decarboxylase	
photolysis	ضوئى للماء ٩٠٣		دهيدروجينيز الجلوتاميك ٩٤٠
longitudinal	طولى ٤٢٥	glutamic dehydrogenase	
transverse	مستعرض ٤٧٥	schardinger	شاردنجر ٨٣٤
Denitrification	انطلاق نيتروجينى ٩٤٣	Enzymes	إنزيمات
Dehiscence	انفتاح	lyases	الإضافة ٨٣٠ ، ٨٤١
septicidal	حاجزى ٦٣١		البناء ٨٣٠ ، ٨٤٣
septifragal	صماى ٦٣٢	ligases or synthetases	
loculicidal	مسكنى ٦٣١		التأكسد والاختزال ٨٣٠
Invertase	إنفرتيز ٨٢٧ ، ٩٢٧	oxidoreductases	
Schizogenous	انفصالية ١٨٤		التشابه ٨٣٠ ، ٨٤٢
Lysigenous	انقراضية ١٨٣	isomerases	
Division	انقسام		التميو أو التحليل المائى ٨٣٠ ، ٨٣٨
	اختزالى ١١٣ ، ١٤١ ، ١٦٣ ،	hydrolases	
	meiosis ١٠٦٢	proteolytic	بروتوليتية ٨٣٨
	cell خلوى ٩٩٠	exoenzymes	خارجية ٣٢٢
	فتيل ١١٣ ، ١٦٣ ، ٢٨٠ ،	endoenzymes	داخلية ٣٢٢
	mitosis ١٠٦١	transferases	ناقلة ٨٣٧ ، ٨٣٠
	أنهيدريز الكربونيك ٩٦٥	Tissues	أنسجة ١٦٩
Carbonic anhydrase		secretory	إفرازية ١٧٥
	أنواع ثلاثية الكربون ٩١٣	meristematic	إنشائية ١٧٠
C-3 species			بنية ١٧٠
C-4 species	رباعية الكربون	intercalary meristems	
Male nuclei	أنوبة ذكرية ٥٧٤	parenchyma	بارنشيمية ١٧٥
Microtubules	أنبيبات دقيقة ١٢٢		تميلية ١٧٦
Cilia	أهداب ٤٢٠	assimilating (chlorenchyma)	

scalariform pitted	سلمية منقرة ١٩٨
reticulate	شبكة ١٩٧
pitted	منقرة ١٩٧
pitted reticulate	منقرة شبكة ١٩٨
Auxanometer	أوكسانومتر ٩٣٣
Oxytetracycline	أوكسي تتراسيكلين ٥٢٢
Auxins	أوكسينات ١٠٠٠
Iberis	أبيرس ٦٦٧٠٠ ، ٦٠٦
Ipomoea	أيبوميا ٨٣ ، ٤٩٥
palmata	بالماتا ٨٦
pes-carpae	بس كارب ٦٩٦
East	إيست ١٠٨١
Isoleusine	أيسوليوسين ٣٩٧
Isometric	أيسومتري ٣٨٨ ، ٣٨٧
Eichler	أيشلر ٦٤٢ ، ٦٤١
Metabolism	أيض ٩١٩ ، ٨٨٢ ، ١٤٦
anabolism	بنائي ٩١٩ ، ٨٨٢
katabolism	هدمي ٩١٩ ، ٨٨٢
Evosin	إيفوسين ٥١٦
Epstein	إيبشتاين ٧٧٥
Oenothera lata	إينوثرأ لاتا ١١٠٧
	إينوثرأ لاماركيانا
Oenothera lamarckiana	
Iodoacetate	أيودوخلات ٨٣٦
Eosine	إيوسين ٨٣٩
ب	
Carica papaya	باباز ١٥٦
Bateson	باتيسون ١٠٨٠
	باذنجان ٦٢٧ ، ٧٠٣
Solanum melongena	

August Weissmann	أوجست ويزمان ١١٠٥
Oogonium	أوجونة ٤٢٧ ، ٤٣٤ ، ٤٤٨ ، ٤٥٩٠
Leaves	أوراق
radical	جلدية ٩٥
sporophylls	جرثومية ٥٥٢
micro-	صغيرة ٥٦٧
mega-	كبيرة ٥٦٧
scaly	حرفشية ١٠٧
foliage	خوصية ١٠٧٨
floral	زهري ١٠٧
cauline	ساقية ٩٥
fronds	سرخسية ٥٥٣
	سوارية أو محيطية ٩٦
whorled or verticillate	
alternate	متبادلة ٩٥
metamorphosed	متحورة ٩٨
opposite	متقابلة ٩٦
decussate	متصالبة ٩٦
Orthoquinone	أورثوكوينون ٨٣١
Ornithogalum	أورنيثوجالم ٦٥٢٤
Aureomycin	أوريومايسين ٥١٦
Osmosis	أوزموزية ٧٤٧
Osterhout	أوسترهاوت ٧٧٧
Oscillatoria	أوسيلاتوريا ٣٧٧
Vessels	أوعية أو قصبات ١٩٦
pycnidia	بكنيدية ٤٩٣
spiral	حلزونية أو لولبية ١٩٧
annular	حلقة ١٩٧
	سلمية شبكة ١٩٧
scalariform reticulate	

Petals	بتلات ٥٩٤	باذنجانية (فصيلة) ٦٩٥، ٦٤٥، ٥٩٤، ١٥٤	
Butler	بترل ٩٠٤	Solanaceae	
Petunia	بتونيا ٧٠٢، ٥٩٤	باراميلون ٤٢٤، ٤٢٣	
Pterocladia	بتير وكلاتيا ٤٥٢	Parkinsonia	باركنسونيا ٩٨، ٨٢
Teleutosori	بترات تليئية ٤٨٩	Parnas	بارناس ٨٧٥
urctor-	يوريدية ٤٨٩	Parenchyma	بارنشيمية ١٧٥
Sorus	بثرة جرثومية ٥٥٤	xyiem	خشب ١٩٦
mixtae	مختلطة ٥٥٤	phloem	لحاء ١٩٢
٧٠٦، ٦٩٥، ٦٤٥ (فصيلة)	بجنولية	باروزما بتيولينا ٦٨١	
Bignoniaceae	بدائيات الأنوية ٢٨٠، ٢٧٩، ١١٥، ١١٣	Barosma betulina	بازلان ١٠٣٦، ٩٩٨، ٦٧١
Prokaryote	بدائيات الأوراق ١٧٠	Pisum sativum	بازيديوم ٤٩٢، ٤٨٨، ٤٥٨
Leaf primordia	بدور غير قابلة للضوء ٩٨١	Basidium	باسيتراشين ٥٢٢، ٥١٦
Light-hard seeds	متعادلة بالنسبة للضوء ٩٨١	Bacitracin	باحتيلس ٤٧٩، ٣٣٠، ٢٩٣
light-indifferent	light-indifferent	Bacillus	أنثراكس ٣٠٥
Spermatia	بذيرات ٤٩٤	anthracis	تيغوزا ٣٨٥
Bud, Buds	برعم - براعم	typhosa	سبتيليس ٥٢٢، ٢٩٩
إبطى أو جانبي ١٧		subtilis	كالمث خويرين ٣٣٥
axillary or lateral	أساسى ٥٥	calmette guerin	ليبرو ١١١٩
principal	إضافية ٥٥	leprobacillus	ميجاثيريم ٣٠٦
accessory	حرفنية ٥٤	megatherium	باكسينيا جرامينس ٤٨٨
scaly	شتوية ٥٤	Puccinia graminis	جلومارثام ١٠٧١
winter	صيفية ٥٤	glumarthum	باكيتين ١٠٦٣
summer	طرفى أو قى ٥٣	Pachytene	بامية ٦٨٤
terminal or apical	عرضية ٥٥	Hibiscus esculentus	باندورينا ٤٣١، ٤٢٧
adventitious	برانتل ٦٤٢	Pandorina	بائسية ٦١٢، ٦٩١
Prantl	بربرين فولجارس ٤٨٩	Viola tricolor	بازر ١٠٠٦، ٩٠٢
Berberis vulgaris	بربرى ٢٥٤، ٩٠	Baeyer	بيتونات ٩٣٥
Berberis	برتمقال ٦٧٩، ٥٩٧	Peptones	بيتيدوجلتيكان ٢٩٥
Citrus sinensis		Peptidoglycan	

Periderm ٢٥٦ بریدرم (بشرة محيطية)

Priestly ٧٨٥ بريستلي

Pericycle ٢٠٦ بريسيكل (دائرة محيطية)

Bryophyllum ٥٥ بريوفيللم

Caruncle, aril ٢٩ بسباسة

Pisum sativum ١٤٠ بسلة

الزهور ٦١٢ ، ٦٧٠

Lathyrus odoratus

Bessey . ٦٤٣ بى

Epidermis ٢٠٤ ، ١٧١ بشرة

داخلية ٢١٧ ، ٥٧٩

endodermis

Eriobotrya japonica ٦٦٨ بشملة

Nymphaea ٢٢٨ بشنين

N. alba ٨٠٥ أبيض

بصل ١٢ ، ٣٩ ، ٦٥٤

Allium cepa L.

Bulb ٧٣ بصلة

Bulbils ٧٣ بصيلات

Ipomoea officinalis ٤٩٦ ، ٥١ بطاطا

Solanum tuberosum ٧٠٣ بطاطس

Venter ٥٤٣ بطن

Citrullus vulgaris ٧٠٩ بطيخ

Petroselinum sativum ٦٩١ بقدونس

Legume ٦٣١ بقلاء - قرنه

Caesalpinia ٦٧٥ بقم

Caesalpinaceae ٦٧٥ بقمية (فصيلة)

Bacteria ٢٥٧ ، ٢٨١ بكتريا

enteric ٣٤٩ الأمعاء

iron ٣١٤ الحديد

sulphur ٣١٤ ، ٣٠٧ الكبريت

nitrate ٣١٣ النترات

Briggs ٨٩٩ بريجز

and Schantz ٨١٣ وشانتز

Origanum majorana ٧٠٢ بردقوش

Chloris ciliata ٩٨٢ برسمون

برسيم حجازى ٢١٧ ، ٦٣٨ ، ٦٧١

Medicago sativa

مساوى ٦٧١

Trifolium alexandrinum

برقوق ٦٣٢ ، ٦٦٩

Prunus domestica

Principes ٦٤٩ ، ٦٤٤ برنسيات (رتبة)

Caryopsis ٦٢٨ برة

بروبيونيا كنيريم ٣٣٩

Propionibacterium

Protoplast ١٢١ ، ١١٢ بروتوبلاست

بروتوبلازم ١١٢ ، ٧١٩

Protoplasm

Protonema ٥٢٩ بروتونما (خيط أولى)

Proteins ٩٣٤ بروتينات

الفيكوبيلين ٣٧٠

Phycobiliproteins

simple ٩٣٦ بسيطة

conjugated ٩٣٦ تزاوجية

derived ٩٣٦ مشتقة

histone ٢٨٠ نسيجية

nucleoproteins ٩٣٦ نووية

Proteases ٩٣٥ بروتيازات

بروسونتيا القرطاسى ٦٦١

Broussonetia papyrifera

بروكاين البنيسلين ٥١٩

Procaine penicillin

Prochloron ٢٨٢ بروكلورون

Prochloronta ٢٨٢ بروكلورونتا

Prolamins ٩٣٦ بولامينات

كيمائية التغذية الذاتية ٣٤٦	النيرة ٣١٦	nitrifying
chemoautotrophs	النيريت ٣١٢	nitrite
anaerobic ٣٤٥	بدائية ٢٨١	archaeobacteria
لاهوائية ٣٤٥	تكافلية ٩٤٣	symbiotic
لولية - مشنية ٢٨٣ ، ٣٤٥	حقيقية ٣٦٣ ، ٢٨١	eubacteria
<i>spirochaete</i> ٥١٩	حلزونية ٢٩٤	<i>Spirillum</i>
budding ٣٤٥ ، ٣٠٧	حلزونية ومقوسة ٣٤٥	
متبرعة ٣٠٧ ، ٣٤٥	spiral and curved	
مشبة للنيتروجين ٣١٧	حمض البيوتريك ٨٧٠	butyric acid
nitrogen-fixing	حمض اللاكتيك ٨٧٠	
myxobacteria ٣٤٧	lactic acid	
مخاطية ٣٤٧	خضر مزرق ٢٨١ ، ٣٥٧	cyanobacteria
stalked ٣٠٦	خييطية ٢٩٤ ، ٣٠٧	filamentous
منقطة ٣٠٦	ذوات زوائد ٣٤٥	appendaged
gliding ٣٤٥	رمية ٩٤٣	saprophytic
مزلقة ٣٤٥	سالبة لصبغة جرام ٢٩٦ ، ٣٤٥	Gram-negative
موجبة لصبغة جرام ٢٩٥ ، ٣٤٥	سبحية ٥١٩	<i>Streptococcus</i>
Gram-positive	شعاعية ٢٨١	Actinobacteria
slime ٣٠٧	ضمية ٢٩٤	<i>Vibrio</i>
هلامية ٣٠٧	ضوئية التغذية الذاتية ٣٤٥	phototrophic
aerobic ٣٤٥	عديم التجرثم ٣٤٦	asporogenous
هوائية ٣٤٥	bacilli ٥١٧	عصوية ٥١٧
بكتريورودوبسين ٣٤٧	عصويكترويه ٣٤٥	coccobacilli
Bacteriorhodopsin	عنقودية ٥١٨	staphylococci
بكتريوفاج (لاقم البكتريا) ٤٠٨	عمدية ٣٤٥	sheathed
Bacteriophage	فطرية ٢٩٥	<i>Mycobacterium</i>
بكتريولوجيا زراعية ٣٤١	كروية ثنائية ٥١٨	diplococci
Agricultural Bacteriology		
Pectin ١٦٧		
بكتين ١٦٧		
Pectinase ٤٥٨		
بكتينيز ٤٥٨		
<i>Atropa belladonna</i> ٧٠٣		
بلادونا ٧٠٣		
Groundplasm ١٢٥		
بلازم أساسي ١٢٥		
جرثوى ١٠٥٣ ، ١١٠٥		
germplasm		
نووى ١٤٠ ، ٢٨٣ ، ٢٩٨		
nucleoplasm ٣٧٥		
بلازما ٣٠٨		
Plasmalemma		
بلازموبارا فيتيكولا ٤٥٩ ، ٤٦٤		
<i>Plasmopara viticola</i>		
Plasmids ٣٢٧ ، ٣٠٢		
بلازميدات ٣٠٢ ، ٣٢٧		
Chloroplasts ١٢٧		
بلاستيدات خضر ١٢٧		

G	ج ٥١٧	عديمة اللون ١٢٨ ، ١٣٠
V	ف ٥٢٠	leucoplasts
K	ك ٥١٧	chromoplasts. ملونة ١٣٠
<i>Viola</i>	بنفسج (فيولا) ٦٨٥ ، ٦٣١	Blackman بلاكان ٨٩١
<i>odorata</i>	أودوراتا ٦٨٥	and Parija وباريجا ٨٦٢
<i>tricolor</i>	ترايكولور ٦٨٥	<i>Phoenix dactylifera</i> بلح ٣٧
Violaceae	بنفسجية (فصيلة) ٦٤٥	Plasmolysis بلزمة ٥٧٣
Nutlet	بنيدة ٦٣٦ ، ٧٠٢	Raphides بلورات إبرية ١٥٢
Benecke & Söding	بنيك وسودنج ٩٧٤	وريديّة ١٥٢
<i>Poinciana</i>	بوانسيانا ٨٧	rosette crystals, druses
<i>regia</i>	ريجيا ٦٧٣	Crystalloids بللورية ٧٢٢
Potometer	بوتومتر ٨٠٤	Polymerisation بلمرة ٣٩٥
<i>Sterculia</i>	بودرة العفريت ٦٢٤	باوط ٩٠ ، ١٩٠ ، ١٩٧
Pudding	بودنج ٧٥٦	<i>Quercus suber</i>
Boraginaceae	بوراجينية (فصيلة) ٦١٠	<i>Coffea arabica</i> بن ١٥٥
Borthwick	بورثويك ١٠٢٦	Photosynthesis بناء ضوئي
<i>Borrelia</i>	بوريليا ٣٤٩	real حقيقي ٨٨٥
Busa	بوزا ٣٣٩	apparent ظاهري ٨٨٥
<i>Phragmites</i>	بوص ٦٧٩	بناء كيميائي ٨٤٦ ، ٩١٦
<i>Verbascum thapsus</i>	بوصير ٩٨١	Chemosynthesis
<i>Typha latifolia</i>	بوط ٩٨٠	Bentham بنثام ٦٤١
Urates	بولات ١١٣٣	<i>Corylus</i> بندق ٦٢٩
<i>Polypodium</i>	بوليبوديوم ٥٥٠	Nut بندقة ٦٢٩
Polyphosphates	بوليفوسفات ٣٧٢	Benson & Calvin بنسون وكالفن ٩١٠
	بوليريزات الأحماض النووية ١٣٥	<i>Penicillium</i> بنسيليام ٤٧٣ ، ٤٨١
Nucleic acid polymerases	بومونتيا ٦٩٥	<i>glaucum</i> جلاوكم ٥١٥
<i>Beaumontia grandiflora</i>		<i>roqueforti</i> روكفورتي ٤٨٢
Boysen Jensen	بويسن ينسن ١٠٠٠	<i>camemberti</i> كامبرتي ٤٨٢
Ovule	بويضة ٥٧٣ ، ٥٩٣	كريزوجينم ٤٨٢ ، ٥١٩
	كلوية ٦٠٣	<i>chrysogenum</i>
	مستقيمة ٦٠٢	<i>notatum</i> نوتام ٤٨٢
		Penicillin بنسيلين ٤٨٢ ، ٥٢٦
		X لكس ٥١٧

Taka-diestase	٧٣٩ تاكا دياستير	inverted	٥٨٤ مقلوبة
	١٠٠٤ تأكسد لأميني	anatropous	٦٠٣ منمكة
Oxidative deamination			٤٦٤ ، ٤٦٠ بياض زغبى
Fully turgid	٧٥٥ تام الامتلاء	Downy mildew	
	٥٢٦ تبادل الأجيال	B-amylase	٩٣٠ بيتا أميليز
Alternation of generations			١٠٠٤ إندول حمض الخليك
Heterothallism	٤٧١ تباين الثالوس	B-indole acetic acid	
heterospory	٥٥٢ الجراثيم		٩٢٨ جلو كوسيديز
heterophylly	٩٣ ورقى	B-glucosidase	
Budding	٤٧٤ تبرعم	B-carotene	٣٦٠ كاروتين
Tobacco mosaic	٣٧٩ تبرقش الدخان	<i>Bignonia venusta</i>	٧٠٨ بيجنوفيا
	٧٠٣ ، ٦٠٢ ، ٢٣٩ تبغ	Begonia	٥٥٥ بيجونيا
<i>Nicotiana tabaccum</i>		Pearson	١١١٩ بيرسون
Grey speck	٩٦٣ تبقع رمادى	Burkholder	٥٢١ بيركهولدر
Feeble-mindedness	١١٣٣ تبلد عقلى	Pyrogallol	٨٣١ بيروجالول
Tetanus	٥١٨ ، ٣٠٩ تتانوس	Peroxisomes	١٣٣ بيروكسيسومات
Tetracycline	٥٢٢ تتراسيكلين		٧١٥ بيريثرم
Tetracoccus	٢٩٣ تتراكوكس	<i>Pyrethrum cinerariaefolium</i>	
	٣١٧ تثبيت النيتروجين	Pyrimidine	٣٩٦ بيريميدين
Nitrogen fixation		Peziza	٤٨٣ ، ٤٧٤ بيزيزا
Sporulation	٣٢٨ تجرثم		٦١٩ ، ٥٢٣ ، ٤٣٤ ، ٤٢٧ بيضات
	٥٣٦ ، ٣٧٦ تجزؤ-تفتت	Ova, oospheres	
Fragmentation		Biffen	١٠٧١ بيفين
	٤١٣ تجعد القمة فى سكر البنجر	Elder	١٥٩ بيلسان
Sugar beet curly top			٦٨١ بيلوكاربس ميكروفيلس
Adsorption	٧٣٧ تجمع سطحى - امتزاز	<i>Pilocarpus microphyllus</i>	
Sinus	٥٦٢ تجويف	Purine	٣٩٦ بيورين
air cavity	٥٤٥ هوائى		١٠١٩ بيورينات مبدلة
Subfamily	٧١٥ تحت الفصيلة	Substituted purines	
Tubiflorae	٦٦٩ ، ٦٦٨ البرقوقية	(ت)	
Prunoideae		Solarization effect	٨٩٥ تأثير التشميس
Pomoideae	٦٦٨ التفاحية	Family history	١١٣١ تاريخ عائل

تراكيب فقاعية ١٣٦	Liguliflorae الشريطية ٧١٥
Vesicular structures	الوردية ٦٦٨ ، ٦٦٩
Trama تراما ٤٩٧	Rosoideae
تراانس أمينيز الجلوتاميك ٨٣٧	Hypostatic تحت الاستاتيكية ١٠٨٥
Glutamic transaminase	subepidermal بشرية ٤٦٠
transaminases أمينيزات ٨٣٧	subclass طائفة ٥٠٩
جليكوزيليز ٩٣٢	hypogynous متاعية ٦٠٣
transglycosylase	subgroups مجموعتين ١١٤٧
Traube تراوب ٧٤٩	subkingdom ملكة ٢٧٩
تربة دياتومية ٤٤٣	Hydrolysis تحليل مائي ٤٧٨
Diatomaceous earth	Ringinغ تحليق ٩٠٠
bog غدقه ٣٧٢	Sex reversal تحول جنسي ١١٢٢
Tryptophane تربوفين ٣٩٧	metabolism غذائي ٨٨٢
Aestivation تربيع زهرى ٥٩٥	Transformations تحويلات ٣٢٦
Terpenes تربينات ١٨٤	تحت ١٦١ ، ٥٤١ ، ٥٩٤
diterpenes ثنائية ١٠١٨	Torus, receptacle, thalamus
ترتيب قطري ٢٢٢	Specialisation, specificity تخصص
Radial arrangement	فسيولوجى ٤٢٧
Precipitation ترسيب ٤٠٢	physiological specialisation
متبادل ٧٣٥	group specificity مجموعة ٨٢٧
mutual flocculation	absolute specificity مطلق ٨٢٧
تركيبى - تركيبية ٩٢١ ، ١١٢٥	Fermentation تخمر ٩٣٩
Structural	symbiotic تكافل ٤٧٩
Lupinus termis ترمس ٢٩	alcoholic كحولى ٤٧٦
تريبونوما باليدم ٢٩٤ ، ٣٠٣ ، ٣٤٧	تداخل القمل الجيئى ١٠٧٧
Triponema pallidum	Gene interaction
تريكوذيبيام إرثيريم ٣٦١	Taste تذوق ١١٣١
Trichodesmium erythraeum	Aestivation تراكب
تريكوڤيتون ٤٥٧ ، ٥١١ ، ٥١٢	أصاعدى ٥٩٦
Trichophyton	ascending imbricate
Trehalose تريهالوز ٤٥٦	تنازلى ٥٩٦
تريوز فوسفات أيسوميريز ٨٤٢	descending imbricate
Triose phosphate isomerase	ملتف أو ملتوى ٥٩٦
Conjugation تزواج ٤٣٦ ، ٤٧٥	contorted or convolute

Floating	تعويم ۳۷۲	bacterial	بكتيري ۳۲۷
	تغلظ ثانوي ۲۳۴	lateral	جانبی ۴۳۶
Secondary thickening		sexual	جنسی ۴۲۷
	تفاح ۶۲۷ ، ۶۳۴ ، ۶۶۸	scalariform	سلمی ۴۳۶
<i>Pyrus malus</i>		Ergotism	تسمم إرجوتی ۴۸۷
Hill reaction	تفاعل هل ۹۰۳		غذائي ۳۳۷ ، ۳۰۶
	تفتح خارجي ۵۹۹	food poisoning, botulism	
Extrorse dehiscence		botulism	بباري ۳۳۷
introrse d.	داخلي ۵۹۹	Suberisation	تسوير ۲۵۶
<i>Thevetia peruviana</i>	تفتيا ۶۹۵	Chapman	تشابمان ۹۶۴
Branching	تفرع		تشارلس داروين ۱۱۰۴ ، ۱۱۰۳
dichotomous	ثنائي الشعب ۶۱	Charles Darwin	
lateral	جانبی ۶۰	Chandler	تشاندر ۷۶۶
monopodial	صادق المحور ۶۱	Imbibition	تشرب ۷۲۶ ، ۷۵۷
apical	قبي ۶۰	Saponification	تصبن ۹۴۸
sympodial	كاذب المحور ۶۲	Antagonism	تضاد ۷۷۸
Dwarfism	تقزم ۱۱۲۸	Polydactyly	تضاعف إصبعي ۱۱۲۹
rice d.	الأرز ۴۱۳	polyembryony	جنيني ۵۸۹
	الطماطم الشجيري ۳۹۰ ، ۴۱۳	Grafting	تطعيم ۷۶ ، ۳۵۳ ، ۴۱۳
tomato bushy stunt		Parasitism	تطفل ۳۶۵
ateliotic d.	غير متكامل ۱۱۲۸	Parasitic	تطفلي - طفيلية ۳۴۱
	كساحي ۱۱۲۸	Neutralisation	تعادل ۴۰۲
achondroplastic d.		deplasmolysis	البلزمة ۷۵۴
Division of labour	تقسيم عمل ۴۲۷		تعاقب قبي ۶۱ ، ۴۸۰
	تكاثر جنسي ۴۲۵ ، ۴۴۲	Acropetal succession	
Sexual reproduction		Leaf venation	تعرق الورقة ۹۱
Symbiosis	تكافل ۳۶۵ ، ۳۲۴	reticulate	شبيكي ۱۸
associate s.	مرافقة ۳۱۹	parallel	متوازي ۹۳
Symbiotic	تكافل - تكافلية ۳۴۱	Organisation	تنظيم ۱۶۹
<i>Tecoma</i>	تكوما ۸۷ ، ۷۰۶	Wood rotting	تعطين الخشب ۴۹۹
Cyst formation	تكوين حويصلة ۴۲۵	Rotting	تعطين ۳۳۹
	تلازن ۳۳۴ ، ۴۰۲ ، ۱۱۴۲	Epiphytism	تعلق ۳۶۵
Agglutination			

surface t.	سطحي ٧٣٧	دي ٤٠٦	
Moraceae	توتية (فصيلة) ٦٤٤	haemoagglutination	
Twort	تورت ٤٠٨	Pollination	تلقيح ٦١١ ، ٥٨٦
Rosetting	تورد ٩٦٥	test-cross	اختباري ١٠٤٣
Crown-gall	تورم قمي ١٠١٥		حشري ٦١٢
	توزيع الأوراق على الساق ٩٥	insect (entomophily)	
Leaf arrangement		self-	ذاتي ٦١١
	سوارى أو شيطي ٩٧	cross-	مختلط ٦١١
whorled or verticillate			هوائي ٦١٢
Toxins	توكسينات (سموم)	wind- (anemophily)	
exotoxins	خارجية ٣٣٥	Softening	تلين ١٠٠٩
endotoxins	داخلية ٣٣٥	Flexing	تميل ٢٦٣
Antigenicity	توليد المضاد ٤٠١		تمثيل كربوني ٣٨٣
	توماس جراهام ٧٢٢	Carbon assimilation	
Thomas Graham		<i>Tamarindus indica</i>	تمر هندي ٦٧٥
Tonoplast	تونوبلاست ١٢٦ ، ٧٣٤	Immunisation	تمنيع ٤٠٢
Attenuation	توهين ٤٠٦	Differentiation	تميز ١٠٢٠
Corolla	تويج ٥٩٤	cell d.	خلوى ٩٩٠
Sap stream	تيار العصارة ٧٩٣	Reproductive	تناسلي - تكاثرى ٤٢٦
transpiration s.	التح ٧٩٣	Tyndal	تندال ٥١٥
	تيراميسين ٥١٦ ، ٥٢٢	Respiration	تنفس ٨٤٥
Terramycin			لاهوائي ٨٤٦ ، ٨٦٩
Tyrosine	تيروسين ٧٩٧	anaerobic or non-oxygen r.	
Tyrosinase	تيروسينيز ٨٢٠		هوائي أو أكسيجيني ٨٤٥
<i>Tecoma grandiflora</i>	تيك ٢٤٧	aerobic or oxygen. r.	
<i>Hibiscus cannabinus</i>	تيسل ٦٨٤	Thermoperiodicity	توافت حراري ٩٩٧
Tyloses	تيلوزات ٢٤٧	photo-	ضوئي ١٠٢٠
<i>Ficus</i>	تين	Twins	توائم ١١٢٣
<i>nitida</i>	براق ٦٦٠	siamese t.	سيامي ١١٢٣
	برشومي ٦٣٤ ، ٦٦٠	<i>Morus</i>	توت ٥٤ ، ٩٠ ، ٦٣٤
<i>carica</i>		<i>alba</i>	أبيض ٦٦٠
<i>bengalensis</i>	بنغال ٤٩	<i>nigra</i>	أسود ٦٦٠
<i>Opuntia</i>	شوكي	Interfacial tension	توتر بيني ٧٣٨

dry	جافة ٦٢٨	مطاط ٨٠٥ ، ٦٦٠ ، ١٥٣٤	
follicle	جراية ٦٢٩	<i>elastica</i>	
mericarp	جزئية ٦٣٢ ، ٩٦٠	تينيا كابيتس ٥١٢	
samara	جناحية ٦٢٩	<i>Tinea capitis</i>	
true	صادقة ٦٢٧	Tulip	تيوليب ٧٣
succulent	طرية ٦٢٨	Tunicates	تيونيكات ٢٨٢
indehiscent	غير متفتحة ٦٢٨	(ث)	
	كاذبة ٦٢٧	Thallus	ثالوس
false, pseudocarp		prothallus	أولى ٥٦٢
berry	لبية ٦٣٣	female	أنثوى ٥٨٤
aggregate	متجمعة ٦٢٧ ، ٦٣٤	Thalloid	ثالوسى ٥٢٩
dehiscent	متفتحة ٦٢٨	Threonine	ثريونين ٣٩٧
	مركبة ٦٢٧	Stoma, stomata	ثغر - ثغور ١٨٧
multiple, composite			مائى ١٨٣ ، ٧٢١ ، ٨٢١
	مشقة ٦٢٨ ، ٦٣٢	water s. (hydathode)	
schizocarpic		Pores, holes	ثقوب
	ثنائى - ثنائية - ثنائيات	germ p.	إنبات ٤٩١ ، ٥٩٩
binucleated	الأنوية ٤٧٣ ، ٤٩٤	stomatal p.	ثغرية ٢٢٧
dipeptide	الببتيد ٩٤١	hydrophilic	محبة للماء ٧٧٠
disaccharide	التسكر ٩٢٠	nuclear	نووية ١٣٩
يوريدين الفوسفات الجلوكونى ٧٣٨			ثلاثى - ثلاثية - ثلاثيات
UDPG transglycosylase		tripalmitin	البالميتين ٥٧٠
المجموعة الصبغية ٤٧١ ، ٤٧٣ ،		tripeptide	الببتيد ٩٤١
٤٩١ ، ٤٩٢ ، ٥٢٥ ،		trisaccharides	التسكر ١٢٠
diploid	١٠٦٧ ، ١٠٦٢		التضاعف الصبغى ٦٢٢ ، ١١٠٩
dicyclic	المحيط ٥٥٦	triploids	
المسكن ٤٣٠ ، ٤٣٥ ، ٥٥٢ ،			المحيطات ٦٤٣ ، ٦٤٩ ، ٦٥٢
dioecious	٦١١	trimerous	
NADPH	النيوكليويد الفوسفاتى		فوسفات الأدينوسين ١٣٠ ، ١٣٥
محيطات الغلاف الزهرى ٦٤٤		adenosine triphosphate	
dialypetalae		Fruit-s	ثمرة - ثمار ٦٢٧
	ثوم ٧٣ ، ٦٥٤	simple	بسيطة ٦٢٧
Garlic, <i>Allium sativum</i>		pome	تفاحية ٦٣٤
Thyroxin	ثيروكسين ١١٢١		

cell خلوی ۱۵۷ ، ۱۱۲
 intine داخلی ۵۹۶
 Parietal جداری ۶۰۰
 جداریات (رتبه) ۶۴۵ ، ۶۸۴
 Parietales
 Smallpox جدري انسانی ۴۰۳ ، ۴۱۴
 cowpox بقری ۴۰۳
 hives کاذب ۱۱۳۲
 Leprosy جذام ۵۰۸ ، ۱۱۱۹
 جذر ابتدائی ۱۵ ، ۴۶ ، ۵۶۲
 Primary root
 Mycorrhiza فطر ۳۲۱ ، ۴۹۶
 Roots جذور
 تسلقية (معاليق جذرية)
 climbing (root tendrils)
 respiratory تنفسية ۵۰
 tuberous درنية ۵۱
 pillar دعامية ۴۹
 contractile شادة ۴۹
 adventitious عرضية ۴۳ ، ۶۶
 fibrous ليفية ۴۸
 prop مساعدة ۴۸
 aerial هوائية ۴۹
 tap وتدية ۴۶
 Radicle جذير ۱۹
 Rootlets جذيرات ۱۵
 Spore-s جراثيم - جرثومة ۳۲۸
 بازيدية ۴۵۸ - ۴۹۲ ، ۴۸۸
 basidiospores
 pycniospores بكنية ۴۹۳
 oospores بيضية ۴۶۵
 تيليتية ۴۸۹ ، ۴۹۱
 teleutospores

ثيلاكويدات ۱۱۷ ، ۱۲۹ ، ۳۶۷
 Thylakoids
 ثيمان ۱۰۰۵
 Thimann
 Thimann & Skoog ثيمان وسكوج ۱۰۱۶
 Thimann & Went ثيمان وفنت ۱۰۱۴
 Thiobacillus ثيوباسيلس ۳۰۷
 دينيتريفيكانس ۳۴۴
 denitrificans
 Theophrastus ثيوفراستوس ۹
 (ج)
 جابر بن حيان ۱۰
 جارنر وألارد ۱۰۲۳
 Garner and Allard
 جارونيا ۱۴۶ ، ۶۳۹ ، ۶۷۹
 Pelargonium, Geranium
 Jacaranda acutifolia جاكاراندا ۷۰۸
 Galton جانتون ۱۱۱۹
 Sessile جالسة ۸۲
 جاما جنوبيو اينات ۴۰۱ ، ۴۰۴
 γ-globulins
 Gibberellin جبريللين ۱۰۱۸
 جبريلينات ۱۰۰۰ ، ۱۰۱۷
 Gibberellins
 Gypsophila جب-وفيللا ۶۱۰ ، ۶۱۱
 جبن دو كفورث ۴۸۲
 Roquefort cheese
 camembert c. كامبرت
 جدار
 Wall
 ابتدائي ۱۲۰ ، ۱۶۷
 archegonial ارشيگون ۵۲۳
 antheridial انثريدي ۵۲۳
 ثانوي ۱۲۱
 secondary
 خارجي ۵۳۳ ، ۵۹۹
 exine

Ascocarp	جسم زق ۴۷۳	sexual s.	جاسیه ۴۵۸
	تاروی ۴۷۳ ، ۴۸۵		حافظیه أو أبواغ حافظیه ۴۶۸
perithecium		sporangiospores	
apothecium	کاسی ۴۷۳		داخلیه ۲۲۸ ، ۲۷۶ ، ۴۷۵
cleistothecium	کروی ۴۸۱	endospores	
Crystallloid	جسم شبه بللوری ۱۵۰	ascospores	زقیه ۴۵۸ ، ۴۷۲
globoid	شبه کروی ۱۵۰		ساخته ۴۱۹ ، ۴۲۸ ، ۴۳۹ ،
central	مرکزی ۳۶۶	zoospores	۴۶۵
nuclear	نوی ۲۹۸	microspores	صغیره ۵۶۷
Sonchus	جده ضیف ۶۳۷		غیر متحرکه ۳۷۶ ، ۳۷۸
Gladiolus	جلادیولس ۶۵۵	akinetes	
Glycyl-glycine	جلایسل جلایسین ۹۴۱		کبیره ۵۶۷ ، ۶۱۹
Globulins	جلوبیولینات ۹۳۶	megaspores	
Glutelins	جلوتیلینات ۹۳۶		کونیدیه ۳۳۲
Glucosamine	جلوکوز آمین ۳۶۶	conidiospores, conidia	
Glucopyranose	جلوکوپیرانوز ۳۶۶		لاقحیه ۴۲۸ ، ۴۳۸ ، ۴۶۹
Jelly	جلی ۷۲۶	Zygospores	
Glycogen	جلیکوجین ۴۲۳ ، ۴۵۶	homospores	متشابه ۵۵۱
Glycosides	جلیکوسیدات ۱۵۴	auxospores	نامیه ۴۴۲ ، ۴۴۳
	جلوکابسا ۳۶۲ ، ۳۶۶ ، ۳۷۵ ، ۳۷۷	uredospores	یوریدیه ۴۸۹ ، ۴۹۰
Gleocapsa		Peridium	جراب ثمری ۴۹۴
Gleocapsin	جلیوکاپسین ۳۷۷	Gracilaria	جراسیلاریا ۴۵۲
Glyoxysomes	جلیوکسیسومات ۱۳۳		جرانیالات (رتبه) ۶۴۴ ، ۶۷۷
Anthrax	جره خبیثه ۵۱۸	Geraniales	
Ficus sycamorus	خیز ۶۶۰	Eruca sativa	جرجیر ۶۶۶
Wings	جناحان ۶۷۱		جرسیات (ناقوسیات) (رتبه) ۷۱۱
Genus	جنس ۱۱ ، ۲۸۳	Campanulatae	
Sexual	جنسی ۴۲۸		جریحور جودان مندل ۱۰۳۵
Schizofrenia	جنون شفیف ۱۱۳۴	Gregor Johann Mendel	
Embryo	جنین ۱۹		جریحوری ویرفیس ۱۰۲۳
Dialyser	جهاز الفصل الغشائي ۷۲۸	Gregory and Purvis	
	بیضی ۵۷۴ ، ۶۱۹	Absorbing part	جزء ماص ۳۹
egg apparatus		Animalules	جزئیات حیوانیه ۲۸۶
		Primer molecule	جزء بادی ۹۲۲

serrate	منشارية ٩٠	ثغرى ١٨٧	stomatal apparatus
	حافطة		
zoosporangium	جراثيم ساجحة ٤١٩	نووى ٤٧٤	nuclear apparatus
sporangium	جرثومية ٣٣٠		
	جنسية ٤٤٨ ، ٤٤٥	Bougainvillea	جهتية ١٠٧
conceptacle		Psidium guajava	روافه ٦٨٨
	شيجية ٤٦٨ ، ٤٣٦	Guanine	جوانين ٣٩٨
gametangium		Guaiacum	جواياكم ٨٣١
progametangium	أولية ٤٦٨	Goddard	جودارد ١١٣٣
Aspartic acid	حامض أسبرتيك ٣٧٢	Cocos nucifera	جوز الهند ٦٤٩
	البريونيك ٣٣٩		تمى ١٥٥
propionic a.		Strychnos nux-vomica	
malic a.	التفاحيك ١٤٦	Gustafson	جوستافسون ١٠١٤
	دى أوكسيريونوكليك (دنا)		جوستوس فون ليبج ٢٨٦
	٣٩٨ ، ١١٥	Justus von Liebig	
deoxyribo-nucleic (DNA)			جونيدات ٥٠٢ ، ٤٣٥ ، ٤٣٣
	ريبونوكليك (رنا) ١١٥	Gonidia	
ribonucleic (RNA)		Radicle pouch	جيب الجذير ١٣
Seta	حامل ٥٤٤ ، ٥٤٣	Gigartina	جيدارتينا ٤٥٢
	جرثوى ٤٩٧		جيرونية (فصيلة) ٦٤٤ ، ٦٧٧
sporangiophore		Geraniaceae	
carpophore	كريل ٦٩١	Jussieu	جيسى ٦٤١
	كونيدي ٤٨٠ ، ٤٦٢	Gelidium	جيليديم ٤٥٢ ، ٤٥٠
conidiophore		Gemmæ	جيمات ٥٣٦
rachis	فصل ٥٥٣		(ج)
genophore	جنى ١١٨		حاجز كاذب ٦٠٠
Chromatophores	حاملات أصباغ ٤٤٥	Replum, false septum	
Cuscuta	حامول ٦٩٧ ، ٥٢	Moral sense	حاسة خلقية ١١٢٠
Utricularia	الماء ١٠٤	Leaf margin	حافة الورقة ٨٩
Lepidium sativum	حب الرشاد ٦٦٦	spiny	شوكية ٩٠
Grana	حبات ٩٠٥	sinuate	متكبسة - متعرجة ٩٠
Chondros	حبة ١٣٠	cothed, dentate	مسننه ٩٠
Hedera helix	حبل المساكين ٥٠	crenate	مقروضة ٩٠
Funicle	حبل سرى ٦٠٢ ، ٢٣		

حصا البان ٧٠٢	حبوب لقاح ٥٧٧ ، ٥٧٤ ، ٥٧٢
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Pollen grains ١٥٨٣
حقيقيات الأنوية ١١٣ ، ٢٥٩	حببيات الاختزان ٣٧٢
Eukaryote	Storage granules
حلبة ٦٧١	Aleurone grains ١٥٠ أليرونية
<i>Trigonella foenum-graecium</i>	volutin ٤٧٤ فولوتينية
Annual rings ٢٤٥ حلقات سنوية	ججرات تمثيلية ٥٣٦
Annulus ٥٤٥ حلقة	Assimilating chambers
furanose ٤٤٥ خماسية	Lithotrophs ١١٧ حجرية التغذية
pyranose ٩٢٤ سداسية	Scales ٥٣٠ حراشف - حراشيف
<i>Oxalis</i> ٨٩ حماض	ovuliferous ٥٨٤ بويضية
<i>Rumex patricula</i> ٨١٠ ، ١٥٦ حماض	staminate ٥٨٢ سدائية
Polygonaceae (فصيلة)	bract ٥٣٤ قناية
<i>Lathyrus aphaca</i> ٦٩ حمام البرج	Slime movement ١٢٢ حركة انزلاقية
<i>Cicer arietinum</i> ٦٧١ خمص	Cyclosis ١٢٥ دورانية
Acid حمض	Urticales ٦٥٩ ، ٦٤٤ حريقيات (رتبة)
usnic ٥١٦ الأسنيك	Mosses, Musci ٥٢٩ حزازيات قائمة
alginic ٤٥٢ الألجينيك	Iceland moss ٥٠٥ حزازى أيسلندى
الألفا كيتوجلوتاريك ٨٧٧ ، ٩٣٩	Girdle ٤٤١ حزام
a-keto-glutaric	Bundle-s ٢٠٣ حزم - حزمه
الأوكسالوخليك ٨٧٧	collateral ٢٠٣ جانبية
oxalo-acetic	bicollateral ٢١١ ذوات جانبيين
oxalic ١٥٦ الأوكساليك	cytoplasmic ٣٤٦ سيتوبلازمية
isocitric ٨٧٧ الأيسوسترريك	closed ٢١٤ مغلقة
AG ₃ ١٠١٨ الجبريلاليك	open ٢١٤ ، ٢٠٧ مفتوحة
gigantic ٥٢٠ الجيجانتيك	vascular وعائية
silicic ٧٢٣ السلسيك	secondary v.b. ٢٥٣ ثانوية
citric ١٥٦ الليمونيك - ستريك	جانبية داخلية الخشب الأول ٥٨١
malonic ٧٣٦ المالمونيك	endarch v.b.
mauramic ٣٦٦ الموراميك	Allergy ١١٣٢ حساسية
نوى (نيوكلييك) ٣٩٤ ، ٣٩٦	Drupe ٦٣٢ حصلة (ثمرة حسلية)
nucleic ١٠٥٧	Aphids ١١٢١ ، ٣٥ حشرات المن
حل كهربى ٧٣٤	
Electrophoresis, cataphoresis	

physodes	دباغة ٤٥٣	Fever	حمى
gas	غازية ٣٧٢	scrub	التيغوس ٣٥١
heterocysts	مغايرة ٣٧٣	hay	القش ١١٣٢ ، ١١٢٣
Helozic	حيوانية التغذية ٣٢٥ ، ٣٢٣	typhoid	تيفود ٣٠٦
	(خ)		جبال روكي المبرقة ٣٥١ ، ٤١٠
Inert	خامل ٣٨١	rocky mountain spotted	
Malvales	خبازيات (رتبة) ٦٨١ ، ٦٤٥	relapsing	متقطعة (راجعة) ٣٤٩
Malvaceae	خبازية (فصيلة) ٦٨١ ، ٦٤٥	Oxalis	حيض ١٥٦
	خبيزة - خبازي ٦٨٤ ، ٥٩٧	Rumex	حيض ١٠٩٦
Malva, M. parviflora		Colocynthis vulgaris	حنظل ٧١١
Brassica alba	خردل أبيض ٦٦٧	Antirrhinum	حنك السبع ٧٠٤ ، ٦٠٦
nigra	أسود	Lychnis dioica	حنيس ١٠٩٦
Siliqua	خردلة ٦٣١		حواجز (صفائح) غربالية: ١٩٢ ، ٢٠٧
Cynara scolymus	خرشوف ٧١٥	Sieve plates	
Ceratonia siliqua	خروب ٦٧٥		حواجز جراثومية ٤٦١ ، ٤٦٥ ، ٤٦٨ ، ٥٥٠
Ricinus communis	خروع ٢٩	Sporangia	
Silicula	خريدلة ٦٣١	micro-	صغيرة ٥٦٧
Salicornia	خريزة ٧٨٧	mega-	كبيرة ٥٦٧
Lactuca sativa	خس ٧١٥		حوامل
Xylem, wood	خشب ١٩٧		أرشيغونية ٥٣٨
proto-	أول ٢٠٨	archegoniophores	
meta-	تالي ٢٠٨		[أنثريدية ٥٣٨]
autumn	خريفى ٢٤٣	antheridiophores	
spring	ربيعى ٢٤٣	rhizophores	جذرية ٥٦٦
sap	رخو - عصيرى ٢٤٦	sporangiohores	حافلية ٤٦٠
heart	صميمى ٢٤٦	chromatophores	صبغة ٤٢١
	ششخاش ٦٦٣ ، ٦٣٧ ، ٦٣١ ، ٦٠٥ ، ٥٩٤	Populus	حور ٦٥٧ ، ٥٤
Papaver, rhoeas		alba	أبيض ٦٥٧
Vegetative	خضرى ٤٢٦	pyramidalis	البقس ٦٥٧
	خطمية ٦٨٢ ، ٦٣٢ ، ٨٦	Cyst	حوصلة ٤٦٢
Althaea rosea		Strabismus	حول العين ١١٣١
	خطوط الانفتاح ٦١١	Vesicles	حوبيصلات ٣١١
Lines of dehiscence		cystolith	خجرية ١٥٣

يتوعية - أنابيب يتوعية ١٥٥٠١٣٨
latex

Ammi visnaga خلسه ٦٩١

Posterior خلفي ٥٩٤

Cell خلية ٣٢٦

tube أنبوبية ٥٨٦

ثالوسية أولية

prothallial, vegetative

جنينية ٥٧٠ ، ٦٢٣

emryonic

stalk عنقية ٥٨٦

قنوية بطنية ٥٢٣

ventral canal

heterocyst مغايرة ٣٦٨

recipients مستقبلة ٣٢٦

donor معطية ٣٢٦

خامسة المحيطات ٦٨١، ٦٦٧، ٦٤٣

Pentamerous

خيرة ٤٧٣، ٣٤٠

Yeast, *Saccharomyces*

Guinea pigs خنازير غينيا ١٠٥٠

خواص اتحادية ٩٤٧

Additive properties

Prunus persica خوخ ٦٦٩

Cassia fistula خيار شمبر ٦٧٥

Gill; خياشيم ٤٩٧

خيوط ٥٩٧، ٣٦١، ١٣٠

Mitos, filament, trichome

Protonema خيط أولى ٥٤٦ ، ٥٢٩

Quasi-filaments خيطية ٣٦١

خييمات (رتبة) ٦٨٨ ، ٦٤٥

Umbelliflorae

خيمية (فصيلة) ٦٨٩، ٦٤٠، ٦٣٢، ٦٠٦

Umbelliferac

خلاات المرافق الإنزيمي Acetyl CoA ٤٣
Cells خلايا ١١١

إنشائية - مرستمية ١٦٣

meristematic

subsidiary إضافية ١٨٩

antheridial أنثريدية ٥٨٤

basidial بازيدية ٤٩٢

prokaryotic بدائية النواة ١١٣

intercalary بينية ٤٩٤

generative تناسلية ٥٨٦

جرثومية ١١٠٥ ، ١٠٦١

germ

جسدية ١١٠٥، ١٠٦٠، ٤٣٣، ١٤١

somatic

guard حارسة ١٨٧

stone حجرية ١٩٢ ، ١٨٠

حقيقية النواة ١١٨ ، ١١٣

eukaryotic

خضرية ٥٨٤ ، ٤١٩

vegetative

albuminous زلالية ٥٨٠

antipodal سميتية ٦٢١

stalk عنقية ٤٩٤

tracheidal قصيبية ٥٨٠

companion مرافقة ١٩٢

passage مرور ٢١٩

synergids مساعدة ٦١٩

hinge مفصالية ٢٧٢

والدة للجراثيم ٥٢٥

spore mother

للجراثيم الكبيرة ٦١٩

megaspore mother

للسابحات الذكرية ٥٢٣

sperm mother

<i>Nerium oleander</i>	دلفه ٩٦ ، ٢٧٢	خيوط	
<i>Dictyota</i>	دكتيوتا ٦١	استقبال ٤٩٣	
	دكتيوسومات (أجسام جولجي) ١٣٥	receptive or flexuous hyphae	
Dictyosomes		بكثيدية ٤٩٣	
Dextran	دكستران ٣٤١	pycnidial hyphae	
<i>Amaranthus retroflexus</i>	دلاق ٩٨٤	تميلية ٥٣٠	
	دنا (حامض نووي) ١١٨ ، ١٣٢ ، ٢٨٤	assimilating filaments	
	٢٩٨ ، ٣٠١ ، ٣٢٦ ، ٣٢٧	عقيمة ٤٩٣ ، ٤٧٣ ، ٤٤٨	
	٣٦٧ ، ٣٩٨ ، ١١٥٤ ، ١١٥٥	paraphyses	
	١١٥٦ ، ١١٥٧ ، ١١٥٨	hyphae	فطرية ٤٥٥
DNA	١١٥٩	كروماتينية ٤٧٤ ، ١٠٥٧	
<i>Panicum crus-galli</i>	دنيه ٦٤٩	chromatin threads	
<i>Erodium</i>	دهمة ٦٣٩ ، ٦٧٩	(د)	
Fats	دهون ١٥٢	<i>Datura</i>	داتوره ٧٠٣ ، ١١١٤
true	حقيقية	Intracellular	داخل خلوية ١٧٣
Dobzhansky	دوبز هانسكي ١١١٢		داخلية الخشب الأول ٢٠٨
<i>Duranta</i>	دوراننا ٥٤ ، ٦٩٨	Endarch	
	دورة النيتروجين ٣١٤ ، ٩٤٣	<i>Dahlia variabilis</i>	داليا ١٤٧ ، ٧١٥
Nitrogen cycle			داود الأنطاكي ١٠
Calvin	كالفين ٩١١	Cyclic	دائري ٦٦٢ ، ٦٦٧
Krebs	كربس ٨٧٦	Tannins	دباغيات (تانينات) ١٥٦
nuclear	نووية ٥٢٦	algal	طحلبية
Dewar's flask	دورق ديوار ٨٤٨	Humus	دبال ٣٤٢
Dolk	دولك ١٠٠٢	<i>Viscum, Mistletoe</i>	دبق ٦٣٨ ، ٩٨١
<i>Hyphaene thebaica</i>	دوم ٦٣٢ ، ٦٥٢	<i>Diplobacillus</i>	دبلوباسيلس ٢٩٣
	ديابيطس غير سكري ١١٣٢	Diplostene	دبلوتين ١٠٦٤
Diabetes insipidus		<i>Diplococcus</i>	دبلوكوكس ٢٩٣
Diatoms	دياتومات ٤٢٢ ، ٤٤٠	<i>Dracaena</i>	دراسينا ١٥٣ ، ٢٥٢
Diastase	دياستيز ٤٧٧ ، ٨٢٣	Minimum	درجة صغرى ٢٩٠
	دياكينيسس (المرحلة التشيتية) ١٠٦٤	maximum	قصوى ٢٩٠
Diakinesis		optimum	مثلى ٢٩٠
	ديامينيزات ودياميديزات ٨٣٨	Tuberculosis	درن (سل) ٥٠٧ ، ١١٣٣
Deaminases & deamidases		Tuber	درنسة ٦٨
		Diphtheria	دفتريا ٣٠٦ ، ٥١٨

- عويجة (رفيعة) ٦٤٣
Andropogon sorghum
 ذكاء ١١٣٥
 Intelligence
 ذنبات ٤٩٨، ٤٩٢، ٤٨١
 Sterigmata
 ثانوية ٤٨٠
 secondary
 ذرات الفلقة الواحدة ١٩ ، ٦١٢
 Monocotyledons
 الفلقتين ١٩ ، ٦٤٢
 Dicotyledons
 ذيل الحصان (نبات) ٩٥٠
Equisetum
 (ر)
 رابط ٥٩٧ ، ٦١٥
 Connective
 رابطة البتيد ٨٣٨ ، ٩٣٧
 Peptide-linkage
 رادين ولومس ١٠٢٠
 Radin and Loomis
 راشك وهبل ٨١١
 Raschke and Humble
 رامنتسا ٥٥٣
 Ramenta
 رايت ١٠٢٠
 Wright
 رايزوبس ٥٠٩
Rhizopus
 نجرىكانس ١٠٠٥، ٤٦٧، ٤٥٩
nigricans
 رايزوبيم ٣٤٩، ٣١٨
Rhizobium
 رباعيات - رباعية - رباعي ٥٢٥
 Tetrads
 البتيد ٩٤١
 tetrapeptide
 المجموعة الصبغية ١١٠٩
 tetraploids
 المحيطات ٦٤٣
 tetramers
 جرثومية ٥٣٢ ، ٥٥٤
 spore tetrads
 ربو ١١٣٢
 Asthma
 رتم ١٨٩ ، ٢٧٠
Retama raetam
 رحيق ١١١٣
 Nectarine
 دياوكسيريبوز ٣٩٧
 Deoxyribose
 دياوكسيريبونوكليوتيدات ٣٩٨
 Deoxyribonucleotides
 ديجيتالس ٧٠٦
Digitalis purpurex
 ديجيتالين ٧٠٦
 Digitalin
 ديجيناسمبلكس ٤٥١
Digena simplex
 ديدان ثعبانية ٤١١
 Nematodes
 ديريل ٤٠٨
 D'Herelle
 ديزوكسيريبونوكليز ١٣٣
 Desoxyribonuclease
 ديس ٢٣١
Typha
 ديشار ٥٥٧
Pteris
 ديكسون ٧٩٣
 Dixon
 ديهيدروجينيزات ٨٣١
 Dehydrogenases
 ديهيدروجينيز الأيسوسترك ٨٣٥
 Isocitric dehydrogenase
 السكينيك ٨٥٣
 succinic
 ديهيدروجينيز تريوز الفوسفات ٩٦٥
 Triose phosphate dehydrogenase
 ديونيا ١٠٣
Dionaea
 (ذ)
 ذات أصل خارجي ٢٢٤
 Exogenous
 أصل داخلي ٢٢٣
 endogenous
 الجنب والرئة ٣٥٢
 pleuropneumonia
 طبيعة مزدوجة ٧٣٤
 amphoteric
 ذاتية التغذية الضوئية (ضوئية التغذية) ٣٠٨
 Photo autotrophs
 الكيمائية ٣٢٢
 chemoautotrophs
 ذبابة الفاكهة الأمريكية ١١٠٨
Drosophila melanogaster
 ذرة شامية ٦٤٥
 Zea mays

ریبونوکلئوتیدات ۳۹۸
Ribonucleotides
ریبواوز ثنائی الفوسفات ۹۱۱
Ribulose diphosphate
ریحان ۶۰۲ *Ocimum basilicum*
رئس ۴۶۷ *Stolon*
ریزوتومول ۹ *Rhizotomol*
ریزومه ۶۸ *Rhizome*
ریشه ۵۵۸ ، ۱۹ *Plumule*
ریشیا ۵۲۹ *Riccia*
ریشیه ثلاثیه ۵۵۴ *Tripinnate*
ثنائیه ۵۵۳ *bipinnate*
ریکتسیات ۳۵۶ ، ۳۵۵ ، ۳۴۶ ، ۲۸۲
Rickettsiales ۵۲۱ ، ۴۱۴
ریودالات (رتبه) ۶۶۲ ، ۶۴۴ *Rhoedales*
(ز)
زان ۷۶۵ ، ۲۶۰ *Fagus grandiflora*
زانثوفیل ۸۸۸ ، ۴۲۱ *Xanthophyll*
زایجوتین ۱۰۶۳ *Zygotene*
زائد التریکز ۷۵۳ *Hypertonic*
زایمز ۴۷۶ *Zymase*
زجاج بیرکس ۹۵۳ *Pyrex glass*
زحف ۲۶۷ *Gliding*
زغب ۵۹۴ *Pappus*
زق (کیس زق) ۴۷۲ ، ۴۵۸ *Ascus*
زقیات *Asco*
قاروریه ۴۸۴ ، ۱۴
Pyrenomycetes
قرصیه ۴۷۳ ، ۴۸۳
Discomycetes
کرویه ۴۷۳ *Plectomycetes*
زقیم ۲۶۵ *Pistia stratoites*
زنبق ۶۵۴ ، ۷۳ ، ۴۹ *Lilium martagon*

ردفایف ۱۰۷۲ *Red five*
ردکالکتا ۱۰۷۲ *Red Calcuta*
رغن ۵۶۵ ، ۵۵۰ *Selaginella*
رطریط ۸۲ *Zygophyllum coccineum*
رفایه ۴۴۱ *Raphe*
رقم ایدروجنی ۲۹۰ pH value
رماد ۹۴۹ *Ash*
رمان ۶۲۷ *Punica*
رن ۱ (حامض نوی) ۱۲۶ ، ۱۳۲ ،
۳۹۸ ، ۳۰۱ ، ۲۸۴ ، ۱۴۲ ، ۱۳۳
RNA ۱۱۵۶
رندل ۶۴۳ *Rendle*
روابط بلازمیه ۳۷۵ ، ۱۶۹ ، ۱۲۱
Plasmodesmata
روبرت براون ۷۳۰ ، ۷۱۹
Robert Brown
روخ ۳۰۵ *R. Koch*
روبن ۹۰۲ *Ruben*
هل ۹۰۳ *R. Hill*
رودومیکروبیم ۳۰۷ *Rhodomicrobium*
فانیلیای ۳۱۰ *vanniellii*
روسلا تنکتوریا ۵۰۵ *Rocella tinctoria*
روسلیا ۷۰۶ *Russelia juncea*
روهلاند ۹۱۷ ، ۷۷۱ *Ruhland*
رویشات ثانویه ۵۵۴
Secondary pinnules
رویشه ۵۵۸ ، ۵۵۳ *Pinnule*
ریبوز ۹۶ *Ribose*
ریبوسومات ۱۳۴ ، ۱۲۵ ، ۱۱۶ ، ۱۱۵
Ribosomes ۲۹۹
ریبوفلاوین ۸۳۶ *Riboflavin*
ریبونوکلئیز ۲۸۴ ، ۱۳۳
Ribonuclease

سباحات ذكرية ٤٢٧ ، ٤٣٤	Liliflorae ٦٥٢ ، ٦٤٤ (رتبة)
Spermatozoids	Liliaceae ٦٥٢ ، ٦٤٤ (فصيلة)
Sutton ساتون ١٠٥٦	Moss flower زهرة حزازية
Sargassum سارجاسم ٤٤٥ ، ٤٥٠	female أنثوية ٥٤١
رنحجوانديانم ٤٥٣	hermaphrodite خنثوية ٥٤١
ringgoldianum	male ذكرية ٥٤١
Sarcina سارسينا ٢٩٣	Syphilis زهرى ٣٠٦ ، ٣٤٩
Stem ساق ٥٥	Florets زهيرات ٧١١
primary ابتدائية ٥٦٢	أنبوبية أو قرصية ٧١١ ، ٦١٦
woody خشبية ٥٦	tube or disc f.
hairy شعراء ٥٩	ray f. شعاعية ٧١١ ، ٦١٦
long shoot طويلة ٥٧٧	Directed marriage ١٠٧٥ زواج موجه
herbaceous عشبية ٥٥	Tentacles زوائد ١٨٣
dwarf shoot قزمة ٥٧٧	prickles شوكية ٥٩
glabrous ملساء ٥٩	papillae قصيرة (حلمات) ١٩١
Sachs ساكس ٧٨٨ ، ٩٥١ ، ٩٩٥	Keel زورق ٦٧١
Rh-negative سالب العامل الريزيسى ١١٥٠	Zeatin زياتين ١٠١٩ ، ١٠٢٠
Salicin سالسين ١٥٤	Cell enlargement زيادة حجم الخلية ٩٩٠
Sansevieria سانسيفيريا ٦٥٤	Olea europaea زيتون ٦٩٣
Sayre ساير ٨٠٩	Oleaceae زيتونية (فصيلة) ٦٤٤ ، ٦٩١
Cypsela سبسل ٦٢٨	Zygnema زيجنما ١٢٨
Poa سبل ٩٨٢	Tilia ليزفون ٢٣٩
Sepals سبلات ٥٩٤	Tiliaceae ليزفونية (فصيلة) ١٥
سبوروتريكم شنكيائى ٥٠٩	Oils زيوت ١٥٢
Sporotrichum schenkii	ethereal طيارة ١٥٢
Spirogyra سيروجيرا ١٢٨	Zinnia زينيا ٧١٥
arcta أركتا ٤٥٣	(س)
سبيريلم (بكتريا حلزونية) ٢٩٤	سائبات الغلاف الزهرى ٦٤٢
Spirillum	Archichlamydeae
Stadler ستادار ١١١٤	Apocarpous سائب الكرايل ٦٠٠
Ipomoea carica ست الحسن ٦٩٦	سائل معلق ٣٩٣
ستافيلوكوكس ٢٩٣ ، ٣٨٥	Suspending fluid
Staphylococcus	

<i>Ruscus</i>	سفندر ٦٥٤ ، ٦٤ ، ٦٩	<i>aureus</i>	أورياس ٣٧٧
<i>Sphaerotillus</i>	سفيروتللس ٣٠٧	Stanley	ستانلى ٣٨١
Spherosomes	سفيروسومات ١٣٣		٦ - فورفورايل أدنين ١٠١٩
<i>Sphaerella</i>	سفيريلا ٤٣٣	6-furfuryl adenine	
	سكر		ستراريا أيسلانديكا ٥٠٥
	العنب (جلوكوز) ١٤٦	<i>Cetraria islandica</i>	
glucose		Strasburger	ستراسبرجر ٧٩٤
	الفاكهة (فركتوز) ١٤٧		سترانسكوف وديدريش ١١٥٠
fructose		Strandskov & Diederich	
	اللبن (لاكتوز) ٤٧٩		ستر بتوباسيلس ٢٩٤
lactose		<i>Streptobacillus</i>	
pentose	خماسى ٣٦٦		ستر بتوكوكس ٤٧٩ ، ٢٩٣
hexose	سداسى ٤٧٧	<i>Streptococcus</i>	
Aldoses	سكريات الدهيدية ٩٢٠	<i>lactis</i>	لاكتس ٨٧٠
ketoses	كيتونية ٩٢٠	<i>Streptomyces</i>	ستر بتومييس ٣٠٧
	سكران ٧٠٣ ، ١٥٥	Stroma	سترومات ٤٨٥
<i>Hyoscyamus</i> spp., <i>H. muticus</i>		Strychnine	ستريكتين ١٥٥
Sucrase	سكريز ٩٢٧	Steward	ستيوارد ٧٧٤
Sclerenchyma	سكلرنشيمة ١٧٥		سداسيات المجموعة الصيفية ١١٠٩
Sclerotium	سكليروشيم ٤٨٥	Hexaploids	
<i>Scolopendrium</i>	سكولوبندريم ٥٥٣	Stamen	سداة ٥٧٣
Selaginellales	سلاجينلات (رتبة) ٥٤١	Rutaceae	سذابية (فصيلة) ٦٧٩ ، ٦٧٧
	سلاجينلا روبسترس ٥٦٧	Ferns	سراخس
<i>Selaginella rupestris</i>		tree ferns	شجرية ٥٥١
Strain	سلالة	Hydropteridae	مائة ٥٥٣
—strain	سالة ٤٩٣ ، ٤٧١	Fern	سرخس ٥٥٥
+ strain	موجة ٤٩٣	<i>Pteris</i>	الديشار ٥٥٦
	نقية ١٠٧٢ ، ١٠٤٠		بوليبوديم (عديد الأرجل) ٥٥٥
pure strain		<i>Polypodium</i>	
Internode	سلامى ٥٣	<i>Dryopteris</i>	ذكر ٥٥٦ ، ٥٥٥
	سلسلة العوامل الأليلية ١١٤٠	Hilum	سرة ١٤٨ ، ٢٣
Multiple allelomorphs		<i>Dalbergia sisso</i>	سرسوع ٨٩
<i>Zilla spinosa</i>	سله ٦٦	Cystine	سستين ٩٣٦ ، ٩٥٩
Cellobiase	سلوبيز ٩٣٣	Cysteine	سستين ٣٩٧
		Field capacity	سعة حقليية ٧٨٨

Euphorbiaceae	سوسية (فصيلة) ١٨٥	Salicin	سليسين ٦٥٨
Iris	سوسن ٦٥٤ ، ٦٨	Cellulose	سيلولوز ١٢٠ ، ١١٢
	أصفر ٦٥٤ ، ٢٢٢ ، ٢٢٠	hydrocellulose	مائي ٩٣٣
Hemerocallis		Cellulase	سيلوليز ٩٢٨ ، ٢٣
florentina	فلورنتينا ٦٥٥		سمبر فيقم فونكياي ١٠٢٥
Iridaceae	سوسنية (فصيلة) ٦٥٤ ، ٦٤٤	Sempervivum funkii	
Flagellata	سوطيات ٤٢٠	Smilax	سميلاكس ١٠٠
Lophotrichous	سوطية الطرف ٣٠٣	Cassia acutifolia	سنامكي ٦٧٥
amphitrichous	الطرفين ٣٠٣	angustifolia	هندي ٦٧٥
Isotonic	سوي التركيز ٧٥٤	Spike	سنبلة ٦٠٦
Suaeda	سويده ٧٨٧		سنروسبرمات (رتبة) ٦٦١ ، ٦٤٤
Pili	سوطيات ٢٩٧	Centrospermae	
Hypocotyl	سويقة تحت فلقية ٥٩٠ ، ٢٦	Centrosomes	سنروسومات ١٢٤
epicotyl	فوق فلقية ٢٦		سنروسومير ١٠٦٤ ، ١٦٤ ، ١٤١
Codominance	سيادة مشتركة ١١٠٩	Centromere	
Cyanophycin	سيانوفيسين ٣٧٢	Centriole	سنريول ١٣٤
Cyanochloronta	سيانوكلورونتا ٢٨٢	Centaurea	سنثوريا ٧١٥
Cytoplasm	سيتوبلازم ١٢٤	Synthetase	سنثيتيز ٨٤٣
Cytosine	سيتوسين ٣٩٨		السكرور ٨٣٨
Cytokinins	سيتوكينينات ١٠٠٠	sucrose synthetase	
Caesalpino	سيزالينو ٧		سنجر ونيكولسن ٧٤٥
Cephalin	سيفالين ٩٤٥	Singer and Nicolson	
Seifritz	سيفريز ٧٤٤	Acacia	سنط ٦٧٥ ، ١٠٠ ، ٨٢ ، ٦٠
Stems	سيقان ٥٦		بلدي ٦٧٦
		arabica v. nilotica	
subterranean	تحت أرضية ٦٧	Snow	سنو ١٠١٦
runners	جارية ٥٨	Spikelet	سنبيلة ٦٠٧
hollow	جوفاء ٥٩	Suberin	سوبرين ١٢١
prostrate	زاحفة ٥٧	Sudan III	سودان (٣) ٩٤٦
spiny	شوكية ٦٦	Söding	سودنج ١٠٠٨
weak	ضعيفة ٥٦	L-sorbose	سوربوز يساري ٣٤٠
dwarf	قزمية ٥٩	D-sorbitol	سوربيتول يميني ٥٠٣
		Soredia	سوريدات ٥٠٣

Stomium	شق ٥٥٨	climbing	متسلقة ٥٧
	الجليكوسيل ٨٣٨	solid	مصمتة ٥٩
	glycosyl radical	twining	ملتفة ٥٧
Albinism	شقرة ١١٢٦		ورقية متعددة السلاميات ٦٤
	شقيق مداد ٢١٨ ، ٢٣٥	phylloclades	
<i>Ranunculus repens</i>		cladodes	وحيدة السلامى ٦٤
Ranunculaceae	شقيقية (فصيلة) ١٥٤	<i>Secale cornutum</i>	سيكال كورنوتم ٤٨٥
Poliomyelitis	شلل الأطفال ١١٣٣	Gonorrhea	سيلان ٣٠٦
<i>Fragaria</i>	شليك ٥٨ ، ٦٠٠ ، ٦٢٤	Sinigrin	سينجرين
<i>Cucumis melo</i>	شمام ٧٠٩		(ش)
<i>Foeniculum vulgare</i>	شمر ٦٨٩	<i>Mirabilis</i>	شب النيل ١٠٧٧
Peduncle	شمرخ ٦٠٥	<i>Anethum graveolens</i>	شبت ٦٩١
<i>Cereus</i>	شمع (نبات) ٥٠	Rhizoid	شبه جذر ٥٦١
Waxes	شوع ٩٤٥	emulsoids	مستحلبات ٧٢٥
	شواذ عظمية ١١٢٨	suspensoids	معلقات ٧٢٥
Bone abnormalities			نواه ١١٧ ، ٢٧٩ ، ٢٩٨ ، ٢٨٣
<i>Avicennia marina</i>	شوره ٥٠ ، ٦٩٩	nucleoid	
<i>Avena sativa</i>	شوفان ١٠٠١		شبكة إندوبلازمية ١٢٢ ، ١٢٥ ، ٢٩٨
	شوك الجمال ٩٠	Endoplasmic reticulum	
<i>Echinops spinosissimus</i>		Reticulate	شبكة ١٤٠
Prickly	شوكية ٥٩	<i>Xanthium</i>	شبيط ٦٣٨
Shull	شول ٩٨٠	<i>Ginkgo biloba</i>	شجرة المعبد ٩٨٣
<i>Shigella</i>	شيجلا ٣٤٩	Etiolation	شحوب ظلالى ٨٩٠ ، ٩٩٨
<i>Artemisia cina</i>	شيح ٧١٥		يخضورى ٨٩٠ ، ٩٦١
	شيزوسكارومايس إكتوسبورس ٤٥٧	Chlorosis	
<i>Schizosaccharomyces octosporus</i>			شريط كاسبار ٢٢٠ ، ٧٨٣
<i>Cichorium</i>	شيكوريا ٧١٥	Casparian strip	
Chain	شين ٥١٧	<i>Hordeum vulgare</i>	شعير ٦٤٨
	(ص)		شعيرات - زوائد سطحية ١٩٠
<i>Aloe</i>	صبار ١٨٣ ، ٢٥٢ ، ٦٥٤	Hairs, trichomes	
<i>Cactus</i>	صبار ١٤٦	root hairs	جذرية ٤٥
Cactaceae	صبارية (فصيلة) ٨٥٢	Tegmen	شغاف ٣١
	صبغيات ١١٣ ، ١٣٤ ، ٤٩٢		شفوية (فصيلة) ٦٤٥ ، ٦٩٥ ، ٧٠٠
Chromosomes		Labiateae	

Cruciferae	٦٦٤ ، ٦٦٢	جنسية ١٠٩٢	sex-
Capsule	صماد ٥٣٩	ذاتية (أوتوسومات) ١٠٩٢	auto-
Valve	صمام ٤٤٠	متغايرة ١٠٩٢	hetero-
Deaf-mutism	صمم وبكم ١١٣١	متماثلة ١٠٥٨	homologous-
Variety	صنف ١٢	صدأ أبيض ٤١٠	White rust
Pinus	صنوبر ٥٧٧ ، ٢٣٩	صداع نصف رأسي ١١٣٢	Migraine
	رباعي الأوراق ٥٧٨	صدر مجوف ١١٢٨	Hollow chest
	وحيد الورقة ٥٧٨	صرع ١١٣٤	Epllepsy
	(ض)	صفات غير مندلية ١٠٧٨	
Osmotic pressure	ضغط أزموزي ٧٤٧	Non-Mendelian characters	
turgor-	الامتلاء ٧٥٥	متضادة ١٠٤٢	
wall-	الجدار ٧٥٥	Allelomorphic (allelomorphs)	
root-	جذري ٧٩٥ ، ٧٨٥	مرتبطة بالجنس ١١١٦	
Border	صفة ١٦١	sex-linked	
	ضفدع زينويس ليفس ١١٥٦	Mendelian	مندلية ١٠٧٧
Xenopus laevis		facial	وجهية ١١٢٦
	ضوء مستقطب ٩٢٣		
Polarized light		صفائح بين جرائية ١٢٩	
	ضوئية التغذية الذاتية ١١٧ ، ٢٩١	Intergranial lamellae	
Phototrophs		صفة سائدة ١٠٣٨	
	(ط)	Dominant character	
Class	طائفة ٤٥٩	recessive	متنحية ١٠٣٨
Plague	طاعون ٣٠٦	Salix	صنصاف ٦٥٧ ، ٦٠٨
Layer	طبقة	babylonica	أم الشعور ٦٥٧
aleurone	ألبرونية ١٥١	tetrasperma	رفيع ٦٥٧
hypodermal	تحت بشرية ٥٧٩		صفصافيات (رتبة) ٦٤٤ ، ٦٥٥
subhymenial	تحت خصيبة ٤٩٧	Salicales	
gonidial	جونيدية ٥٠٣		صفصافية (فصيلة) ٦٤٤ ، ٦٥٥
	خارجية (لجدار الجرثومة) ٥٦١	Salicaceae	
exine			صفيفة خلوية ١٦٧ ، ٣٧٥
	خارجية (لجدار الثمرة) ٦٣٢	Cell plate	
pericarp			صفيفة وسطى ١٢٠ ، ١٦٧ ، ٤٨٥
	خصيبة ٤٧٣ ، ٤٨٣ ، ٤٩٧	Middle lamella	
hymenial			صليبية (فصيلة) ٤٦٠ ، ٥٩٥ ، ٦٠٠ ، ٦٤٥

باطى ٦٢٩ ، ٦٣١ ، ٦٧١	داخلية (الجدار الجرثومة) ٥٦١
ventral suture	intine
genotype ١١٤٥ ، ١٠٤١ جنى	داخلية (جدار الثمرة) ٦٣٢
ظهري ٦٢٩ ، ٦٣١	endocarp
dorsal suture	طرازية ٥٥٤ ، ٥٩٧
L-forms طرز لامية ٣٥٥	tapetal (tapetum)
مظهري ١٠٤١ ، ١١٤٥	طلائية ١٨٣
phenotype	epithelial (epithem)
<i>Helianthus tuberosus</i> ٧١٥ طرطوفة	كهربية مزدوجة ٧٣٢
Method طريقة	electric double
curvature ٧٦٢ التقوس	fibrous ليفية ٥٩٧
الشريحة (الطريقة المبسطة) ٧٦١	intermediate متوسطة ٥٩٧
strip or simplified	pericycle محيطية ٥٧٩
weight الوزن ٧٦١	slime هلامية ٢٩٦
Graft, scion طعم ٧٦	وبرية ١٧١ ، ٢١٧
طفرة - طفرات ١١٠٦ ، ١١٠٧	piliferous
Mutation-s	وسطى (الجدار الثمرة) ٦٣٢
بذرية ١١١٤	mesocarp
seed mutants or sports	وريدية ٥٨٩
برعية ١١١٢	طحالب
bud mutations or sports	Agarophytes أجارية ٤٥١
جسدية ١١١٢	Phaeophyceae بنية ٤٢٢
somatic mutants	Rhodophyceae حمراء ٤٢٣
gene mutations ١١٠٨ جينية	Chlorophyceae خضراء ٤٢٢
كروموسومية ١١٠٨	خضراء مزرقه ٤٢٢ ، ٣٥٧ ، ٢٨١ ، ٤٢٣
chromosome mutations	٤٢٣
موضعية ١١٠٩	Cyanophyceae, Blue-green
point mutations	عصوية ٤٢٢ ، ٤٤٠
نسيجية أو موزيكية	Bacillariophyceae
mosaic mutation	مخاطية أو هلامية ٣٥٨ ، ٤٢٢
Parasites طفيليات	Myxophyceae
obligate إجبارية ٤٥٦	Schizophyceae منشقة ٤٢٢
facultative اختيارية ٤٥٧	يوجلينية ٤٢٠ ، ٤٢٢
Mimosaceae طالحية (فصيلة) ٦٧٠	Euglenophyceae
	Form, suture, types طراز - طرز

عايق ٦٢٩ ، ٦٠٠ ، ٥٩٤ ، ٢٣٥	Androecium	طلع ٥٩٦
<i>Delphinium</i>	أسدية مختلفة الأطوال ٧٠٦ ، ٦٩٨	
Host	عائل ٤٦٤ ، ٣٢٣	didynamous
عباد الشمس (نبات) ٧١٢ ، ٢٠٣	طماطم ٧٠٣ ، ٦٣٣ ، ٥٩٥	<i>Solanum lycopersicum</i>
<i>Hclianthus</i>	طور	Phase, generation
litmus	استوائي ١٦٣ ، ١٤١	metaphase
عبد اللطيف البغدادي	anaphase	انفصال ١٦٣
<i>Pelargoneum graveolens</i> ٦٧٩	palmella stage	بالميلي ٤٢٩
عدد المجموعة الأحادية ١٠٦٦	prophase	تمهيدى ١٦٣
Haploid number	first prophase	أول ١٠٥٩
diploid	جراثيمى ٥٢٥	sporophytic generation
gametic	غير مستمر ٧٢٤	discontinuous phase
<i>Lens esculentus</i> ٦٧١	مستمر ٧٢٤	continuous phase
Astigmatism	مشيجى ٥٢٤	gametophytic generation
عدم سداد البصر ١١٣١	منتشر ٧٢٤	dispersed phase
Polypeptides	telophase	نهائى ١٦٣
عديدات الببتيدات ٩٤١	Annulus	طوق ٥٥٨ ، ٤٩٧
عديد التسكر ٤٤٢٣ ، ٣٤٩ ، ٣٠٠ ، ١٤٧	Hyperopia	طول النظر ١١٣١
Polysaccharide	Subclass	طويشة ٤٥٩
٩٢٠	Marl	طين غنى بكاربونات الكالسيوم ٣٧٤
Lenticels	(ظ)	ظاهرة الكسوف ٤١١
عديسات ٢٥٧	Eclipse phenomenon	تندال ٧٢٩
Atrichous	Tyndall ph.	ظروف تعقيم ٢٨٨
عديم الأسواط ٣٠٢	Sterile conditions	(ع)
عديمة الغلاف الزهرى أو منفصلة أعضاء	Gymnosperms	عاريات البذور ٥٢٧
الغلاف الزهرى ٦٤٤	<i>Alhagi</i>	عاقول ٦٦
Archichlamydeae or Choripetalae		
<i>Glycyrrhiza glabra</i> ٦٧٣		
عرقسوس ٦٧٣		
Lateral veins		
عروق جانبية ٩٢ ، ١٨		
Asclepiadaceae		
عشارية (فصيلة) ١٨٥		
عصى الراعى ١٠٨٧ ، ٦٣١		
<i>Capsella bursa-pastoris</i>		
Carthamin		
عصفر ٧١٥		
Cell sap		
عصير خلوى ١٤٥ ، ١٢٧		
nuclear		
نووى ٣٠٢		
Lemma		
عصيفة سفلى ٦٤٧		
palea		
عليا ٦٤٥٧		
عضوية التغذية الذاتية ١١٧		
Organotrophs		

الحلية ١١ ١٠٥٦٤١٠٤٢٤	Organelle	عضى ١١٨
Cytology ١١٠٦٤١٠٥٧	Mould	عفن
الشكل الظاهري ١٣٤١١	green	أخضر ٤٨١
Morphology	blue	أزرق ٤٨١
Mycology ١١ الفطريات	black	أسود ٤٦٧
Medical ٥٠٧ الطبية		الحبز ٤٥٩
Virology ١١ الفيروسات	<i>Rhizopus nigricans</i>	
Botany ٧ النبات	عفن (عطن) طرى ٣٠٩ ، ٣٠٦	
الاقتصادى أو التطبيقى ١١	Soft rot	
Economic or Applied	Slime moulds	عفنات هلامية ١٣٨
Systematic ١١ التقسيمى	Timber knots	عقد الخشب ٢٤٨
Genetics ١١ الوراثة		بكتيرية ٣١٨
Microbial ٢٨٤ الميكروبية	Bacterial nodules	
أمراض النبات ١١	polar nodules	قطبية ٤٤١
Plant Pathology	central nodules	مركزية ٤٤١
بكتريا الأغذية ٣٣٦	عقربى .. عقربية ٣٨٧ ، ٣٨٨ ، ٦١٠	
Food Bacteriology	Scorpioid	
Dairy ٣٣٧ الألبان	Cuttings	عقل ٧٥
Soil ٣٤١ التربة	Mental	عقلية ١١٢٥
Physiology ١١ وظائف الأعضاء	Denitrification	عكس النيترة ٣١٩
Standard علم (بثلة) ٦٧١		علاقات نشأة تطورية ٣٨٩
<i>Convolvulus</i> ٦٩٧ ، ٨٣ ، ٥٧ عليق	Phylogenetic relationships	
عملية جنسية جانبية ٢٢٦ ، ٢٨٦		علاقية (نصيلة) ٤٦٠ ، ٦٤٥
Parasexual process	Convolvulaceae	
truly sexual ٢٨٥ حقيقية	Colocynth	علم ٧١١
Blindness علم		علم
colour ١١٣٦ لوني	Bacteriology	البكتريا ١١
day ١١٣٠ نهاري	Industrial	الصناعية ٣٣٩
Elements عناصر ٩٥١	Medical	الطبية ٣٣٣
essential ٩٥١ أساسية	Plant Ecology	البيئة النباتية ١١
trace or minor ٩٥١ صغرى		التشريح (التركيب الداخلى) ١١
non-essential ٩٥١ غير أساسية	Anatomy	
كبرى ٩٥١	Biology	الحياة (الأحياء) ٧
major or macro-	Zoology	الحيوان ٧

Irreversible	عديمة الانعكاس ٧٣٧	<i>Vitis</i>	عنب ٥٧ ، ٢٣٩ ، ٦٣٣
sol	في حالة سائلة ٧٤٢	neck	عنق (الأرشيجونه) ٥٢٣
gel	في حالة هلامية ٧٤٢		(الحامل الجرثومي) ٤٩٧
reversible	قابلة للانعكاس ٧٣٧	Stalk or stipe	
	كارهة لوسط الأنتشار ٧٢٤		عنق ٥٣٩ ، ٥٥٣ ، ٦٤٢
lyophobic		Seta or stipe	
hydrophilic	محبة للماء ٧٢٥	cotyledonary stalk	الفلقلة ٣٩
lyophilic	محبة لوسط الأنتشار ٧٢٥		الورقة ٨١ ، ١٧
	غرغرينا غازية ٣٠٩ ، ٥١٨	petiole, leaf stalk	
Gaseous gangrene		phyllode	ورقى ١٠٠
Mycelium	غزل فطري ٤٥٣	Factors	عوامل
Membrane	غشاء	inhibitory	مانعة ١٠٨٠
	بلازمى خارجى ١١٤ ، ١٢٢ ،		متفوقة أو فوق الاستاتيكية ١٠٨٠
plasmalemma	٣٥٩	epistatic	
	ذونفاذية تفاضلية ٧٤٨	duplicate	مزدوجة ١٠٨٠
differentially permeable		catalysts	مساعدة ١٣٢
	شبه منفذ ٧٤٨	complementary	مكملة ١٠٨٠
semipermeable		lethal	مميته ١٠٨٠
impermeable	غير منفذ ٧٤٧		عوسج ٦٠
double	مزدوج ١٢٨	Columella	عوميد ٤٦٨ ، ٥٤٥
permeable	منفذ ٧٤٧	Midrib	عبر - عرق وسطى ٩٢ ، ١٨
unit	موحد ١٢٤	Agaricus	عيش الغراب ٤٨٨ ، ٤٩٦
	غطاء الصباد ٥٣٩ ، ٥٤٥		(غ)
Lid, operculum		Bamboo	غاب رومى ٦٨
indusium	بثرى ٥٥٥	<i>Bambusa</i>	هندى ٦٤٦ ، ٦٤٩
true	صديق ٥٥٥		غاسول ١٠٠ ، ٨٥٢
false	كاذب ٥٥٥	<i>Mesembryanthemum</i>	
	غلاف ٣٨٨ ، ٣٨٥	Pituitary gland	غدة نخامية ١١٢٧
Envelope, sheath			غرفة تحت ثغرية ١٨٨
capsule	الفيريون ٤١١	Substomatal chamber	
	بويضى ٥٧٣ ، ٥٨٤ ، ٦٠٢		غروانى (غروى) - غروانيات (غرويات)
integument			٧٢٢ ، ٧١٩
perianth	زهري ٥٩٥	Colloidal (colloid-s)	
tonoplast	فجوى ١٢٧	phycocolloids	طحلبية ٤٥٢
medullary	نخاعى ٢٤٢		

<i>Acacia farnesiana</i>	فتنة
<i>Raphanus sativus</i>	فجل ١٤٠ و ٦٦٦
Horse	الحصان ٨٣٣
Vacuole-s	فجوة - فجوات ٨٣٣
glycogen	جليكوجين ٤٧٤
vacuole	عصارية ١٤٥
contractile	قابضة ٤٢٨، ٤٢٤
Papilionaceae	فراشية (فصيلة) ٦٧٠
Stereochemical	فراغى ٩٢١
Francis Drouet	فرانسيس درويت ٣٧٧
<i>Verbena hybrida</i>	فريينا مهجنة ٦٩٩
	فركتوز يمينى خماسى الحلقة ٩٢٥
D-fructofuranose	
<i>Lathyrus solitaria</i>	فرنل ٩٨١
Frosch	فروش ٣٨٠
	فروع جانبية (إبطية) ١٧
Lateral (axillary) branches	
Frezia	فريزيا ٦٥٥
Clones	فسائل ١١٥٩
Phosphorylation	فسفرة
	البناء الضوئى ٩٠٦
photosynthetic	
oxidative	تأكسدية ٨٧٧
photo-	ضوئية ٩٠٦
noncyclic	غير دائرية ٩٠٧
Phospholipids	فوسفوليبيدات ٧٢٢
Blod groups	فصائل الدم ١١٣
Group A	فصيلة أ ١١٤٢
B	ب ١١٤٢
AB	أب ١١٤٣
O	و ١١٤٣
Dialysis	فصل غشائى ٧٢٢ ، ٧٢٨
Lobes	فصوص ٥٩٧

nuclear	نوى ١٣٩
coleoptile	ورقى ١٠٠٠
Sheath	عمد ٣٨٥
cotyledonary	الفلقة ٣٨
hypotheca	تحتى ٤٤١
epithea	فوقى ٤٤١
starch	نشوى ٢٠٦
Heterotrophic	غير ذاتية التغذية ٣٢٢
	الضوئية ٣٠٨
photoheterotrophs	
	الكيميائية ٣٠٨
chemoheterotrophs	
Exstipulate	غير مؤذنة ٨٠
amorphous	متباورة ١٥٠
	(ف)
	فاجات معتدلة ٤١٤
Temperate phages	
Warburg	فاربورج ٨٨٧ ، ٨٥٥
	فاصوليا ٢٦ ، ٦٧١
<i>Phaseolus vulgaris</i>	
Vacca	فاكا ٤٠٣
Vaccines	فاكسينات ٤٣٣ ، ٤٣٤
Valonia	فالونيا ٧٧٣
Vallee	فالى ٩٦٥
Valine	فالين ٣٩٧
Van Derlik	فان ديرليك ١٠١٤
Van't Hoff	فانت هوف ٧٥١
	فترة الاستحثاث ١٠٠٧
Induction period	
	الإضاءة الحرجة ١٠٢٥
critical period of illumination	
	النمو الكبرى ٩٩٥
grand period of growth	

متكافلة ٤٥٦ ، ٤٥٧	
symbiotic	
Myxomycetes	مخاطية
٥١٢،٥٠٩ ، ٤٥٨	ناقصة
Deuteromycetes	
Protective action	فعل واقى ٧٣٥
Vesicles	فقائيع ١٣٦
Achene	فقيرة ٦٢٨
Vaccination	فكسة ٤٠٣
Flagellin	فلاجيلين ١١٦
Flavoproteins	فلافوبروتينات ٨٣٦
Flavicin	فلافيسين ٥٢٠
Capsicum minimum	فلفل ٧٠٣
annuum	أجر ٧٠٣
Florey	فلورى ٥١٧
Fluorides	فلوريدات ٨٦٨
Phlox drummondii	فلوكس ٩٨١
Lodicule	فليسة ٦٤٧
Cork	فلين ٤٥٥
١٠٠٩،١٠٠٦،١٠٠٢، ٩٩٧	فنت
Went	
Fujino	فوجينو ٨١٠
3 PGA	٣ فوسفو الجلستريك
	فوسفوجلوكوميوتيز ٨٤٣
Phosphoglucomutase	
Phosphokinases	فوسفوكينيزات ٨٣٧
Phospholipid	فوسفوليبيد ١٣٢
Vaucheria	فوشيريا ١٣٨
Epi-	فوق
-petalous	بتلية ٥٩٧
-calyx	كأسية ٦٨٢ ، ٥٩٤
-gynous	متاعية ٦٠٣
Vicia faba	فول ٦٧١ ، ٢٣

فصيلة (تحت فصيلة) ٦٦٧	
Subfamily	
family	فصيلة
٤٧٥	الخميرة المنشقة
Schizosaccharomycetaceae	
٣٣١	الفطريات السبحية
Streptomycetaceae	
٥٤	بوليبوديدرية
Polypodiaceae	
٦٩٥،٦٤٥،١٥٤	حنك نسبع
Scrophulariaceae	١٠٤
Streptomyces	قطرة سبحية ٢٩٥
Saccharomyces	الخميرة ٤٧٤
Fungi	فطريات ١٣٩
lichen	أشنية ٥٤٧
mould	الفن ٤٥٩
٣٠٦،٢٨٥،٢٨٢	أنشطارية
Schizomycota, fission	
٤٨٨،٤٥	بازيدية
Basidiomycetes	
Hymenomycetes	غشائية ٥٠٢
Oomycetes	بيضية ٤٥٩
Zygomycetes	تزاوجية ٤٤
Dermatophytes	جلدية ٥١١
٤٥٥	حقيقية
true, Eumycetes	
٥١٤ ، ٥٠٩	خميرة
Blastomycetes	
٥١٤،٥٠٩،٤٧٢، ٤٥٨	زقية
Ascomycetes	
٥١٤،٥٠٧، ٢٨١	شعاعية
Actinomycetes	
٥٠٩ ، ٤٥٨	طحلبية
Phycomycetes	
saprophytic	مترومة ٤٥٦

leaf	الورقة ٨٠	<i>Glycine hispida</i>	الصويا ٦٧٣
pyrimidine	بيريميدينه ٣٩٨	<i>Arachis hypogea</i>	سوداني ٦٧١
purine	بيورينيه ٣٩٨	<i>Volvox</i>	٤٢٢ ، ٤٢٧ فولفوكس
	قاعدي ٦٠٢ ، ٧٠١	<i>Vibrio</i>	٢٩٤ فيبريو
Basal, gynobasic		Vitamins	١٥٧ فيتامينات
<i>Betula</i> , birch	٨١٦ ، ٧١٦ ، ٢٦٠ قان	<i>Phytophthora</i>	١٠٧٢ فيتوفثورا
	قانون التوزيع المستقل ١٠٤٨	Phytochrome	١٢٠٩ فيتوكروم
Law of independent assortment			٢٨٢ ، ٣٧٩ ، ٢٨٢ فيروسات
	الانحزال ١٠٣٩	Virus, Viruses, Virales	
of seggregation		Virions	٢٨٥ ، ٣٨١ فيريونات
floral formula	زهري ٦٠٤		٣٦٢ فيشيريلا ميوسيكولا
<i>Acacia senegal</i>	٦٧٧ قتاد	<i>Fischerella musicola</i>	
Foot	٥٦٤ ، ٥٤٤ ، ٥٤٣ ، ٥٣٩ قدم	Pfeffer	٨٧١ ، ٧٥٠ فيفر
blackleg	٣٠٩ سوداء	<i>Ficus religiosa</i>	٨٩ فيكس رليجيوزا
	قراع الرأس (قوباء الرأس) ٥١٢	<i>nitida</i>	٨٩ نتدا
<i>Tinea capites</i>			٨٩٠ ، ٤٢١ ، ٣٦٠ فيكولاريثينات
Disc	قرص ٧٢	Phycoerythrins	
epigynous	فوق متاعي ٦٨٩	Phycocyanins	٣٦٠ فيكوسيانينات
<i>Carthamus tinctorius</i>	٧١٥ قرطم	Willstater	٨٨٨ فيلشتاتر
Lomentum	٦٧٦ قرظة	& Stoll	٨٩٩ وستول
	قرع الكوسة ٦٢٧ ، ٧٠٩	Phenyl alanine	٣٩٧ فينيل الانين
<i>Cucurbita pepo</i>			١١٣١ فينيل ثيوكارباميد
	قرعيات (رتبة) ٦٤٥ ، ٧٠٨	Phenylthiocarbamide	
Cucurbitales		<i>Fusarium</i>	٤٥٧ فيوزاريوم
	قرعية (فصيلة) ٦٤٥ ، ٧٠٨	Fucales	٤٤٥ فيوكات (رتبة)
Cucurbitaceae		<i>Fucus</i>	٤٤٥ ، ٦٠ فيوكس
	قرنبيط ٦٦٦		٨٩٠ ، ٤٢١ فيوكوزانثين
<i>Brassica oleracea</i> v. <i>botrytis</i>		Fucoxanthin	
Legume	قرنة (بقلاء) ٦٣١	Fumarase	٨٤٢ فيوماريز
<i>Syzgium aromaticum</i>	٦٨٨ قرنفل	<i>Funaria</i>	٥٤٠ ، ٥٢٩ فيوناريا
	الزهور ٦٦٢ ، ٦٦١ ، ٦٣١		(ق)
<i>Dianthus</i>		Filtrable	٢٨٠ قابل للترشيح
	قرنفلية (فصيلة) ٦٤٤ ، ٦٦١	Base-s	١٧ قاعدة - قواعد
Caryophyllaceae			
Cortex	٢٠٣ ، ١٧١ قشرة		

caudate	مذنبية ٨٩	phelloderm	ثانوية ٢٥٥
<i>Triticum pyramidale</i>	قمح بلدى ١٠٧٤	<i>Ammophila</i>	قصب الرمال ٢٧١
	هنلى ٦٢٨، ٦٠٦، ١١	(= <i>Calamagrostis</i>)	<i>arenaria</i>
<i>T. vulgare</i>			السكر ٦٤٩
Thistle funnel	قمح ثيل ٧٥٨	<i>Saccharum officinarum</i>	
Apical	قمى ٦٠١	Brachydactyly	قصر الأصابع ١١٢٩
Bract	قنابة ١٠٧	Myopia	النظر ١١٣١
Conjugation canal	قناة تزاوجية ٣٤٧		سلاميات الأصابع ١١٢٩
Veil	قناع	Brachyphalangy	
partial	جزئى ٤٩٧	Tracheids	قصيات ١٩٩ ، ١٩٦
universal	عام ٤٩٧	scalariform	سلمية ٢٠٠
Glume	قنبعة ١٠٨	fibrous	ليفية ١٩٩
first	أول ٦٤٧	Polar	قطبى ١٠٠٥
second	ثانية ٦٤٧		قطن من صنف الكرنك ٣٣ ، ٦٨٤
Glumiflorae	قنبليات (رتبة) ٦٤٤	<i>Gossypium barbadense</i> v. karnak	
Ducts	قنوات		قلافة ١٠٧ ، ٥٤١ ، ٦٠٨ ، ٦٨٩
resin	راتنجية ٥٧٩ ، ٢٠٦	Involucre	
	لبنية (يتوعية) ١٨٤	Bark	قلف ٢٥٩
laticiferous		scale	حشقى ٢٦٠
lacunae	هوائية ٢٦٨	ring	حلقى ٢٦٠
Bracteole	قنبية ١٠٧	<i>Colocasia antiquorum</i>	قلقاس ٧٢
<i>Tinea</i>	قوباء ٥١٢	Style	قلم ٥٧٤ ، ٥٩٩
<i>capitis</i>	أصابع القدم ٥١٣		قلنسوة ٤٤ ، ١٧٣ ، ٤٩٧
<i>unginum</i>	الأظافر ٥١٣	Calyptra, pileus	
<i>corporis</i>	الجسد ٥١٣		قلويدات ، قلوانيات ١٥٤، ١٤٦، ١٢٧
<i>barbae</i>	الذقن ٥١٣	Alkaloids	
<i>capitis</i>	الرأس ٥١٢	Involucel	قليفة ٦٨٩ ، ٥٩٤
Force	قوة	Cretinism	قاة ١١٢٢ ، ١١٣٣
adhesion	التلاصق ٧٩٨	Apex	قمة
	الامتصاص الأوزموزية ٧٥٥	leaf	الورقة ٨٩
osmotic suction		acute, pointed	حاددة ٢٠
Helicoid	قوتى ٦١٠		فسيولوجية ١٠٠٣
		physiological tip	
		acuminate	مستدقة ٨٩

Callus	كالوس ٧٧ ، ١٩٤ ، ١٠١٠	قمية	
Cambium	كامبيوم ٢٠٧	Minimum	صغرى ٨٩١
procambium	أولى ٦٢٣	maximum	قصوى ٨٩١
interfascicular	بين حزمى ٢٣٥	optimum	مثلى ٨٩١
fascicular	حزمى ٢٣٥	Spathe	قينة - إغريض ٦٥٠
Candolle	كاندول ٦٤١	(ك)	
Cunninghamella	كاننجهاميللا ٩٧٥		كابسلا هيجرى ١٠٨٧
Kanomycin	كانوميسين ١١٥٦	Capsella haegeri	
Caulobacter	كاولوباكتر ٣٠٦ ، ٣٤٩	Capsicin	كابيسين ٧٠٣
Rigelia pinnata	كايجيليا ٧٠٨	Catalase	كاتاليز ٨٢٧ ، ٨٣١
Schizonia	كائنات انشطارية ٢٨١	Catechol	كاتيكول ٨٣١
	شبيهة البليرونيمونيا ٣٥٢	Chara	كارا ٧٦٩ ، ٧٧٣
pleuropneumonia-like organisms		Carbohydrases	كاربوهيدريزات ٨٣٨
Suffolk rams	كباش السافوك ١٠٧٤	Carboxylase	كاربو كسيليز
Capsule	كبسولة ٢٩٦	pyruvic	البيروفيك ٨٤٣
Linum	كتان ٦١٠		الفوسفورينول بيروفات ٩١٣
Allium porrum	كرات أبو شوشة ٦٥٤	phosphoenol pyruvate	
A. kurrat	بلدى	Carpomycin	كاربوميسين ٤٠٦
Keratin	كراتين ٥١٢		كارل وللم فون نيچلى ٢٨٥
	كراسيولاسية (فصيلة) ٩٨١	Karl Wilhelm von Naegeli	
Crassulaceae		Carotene	كاروتين ٨٨٨ ، ٤٥٦ ، ٤٢١
Carum carvi	كرواية ٦٩١	Hydrophobic	كاره للماء ١٢٤
Kramer	كرامر ٧٩٠	Carotenoids	كاروتينويدات ٣٠٩
Cryptomonads	كربتومونادات ٣٦٠	Casuarina	كازوارينا ٦١ ، ٢٧٤
Carpel	كريلة ٥٧٣ ، ٥٨٤ ، ٥٩٣	Calyx	كأس ٥٩٤
Cristas	كرستات ١٢٨ ، ١٣٢		كاسيات البذور ٥٧٤ ، ٥٧٥ ، ٥٩٣ ، ٦٤٢
Apium graveolens	كرفس ٦٩١	Angiosperms	
	كرنب ٦٦٦	Eucalyptus	كافور ٢٢٨ ، ٦٨٦
Brassica oleracea v. capitata		Caffeine	كافين ١٥٥
	كروماتيد (نصف صبغى) ١٠٦١ ، ١٠٦٤	Calyptra	كاليترا ٥٣٣ ، ٥٤٣
Chromatid	١٠٦٤	Callistemon	كالليستيمون ٦٨٨
	كروماتين لاشبكى ١٤٠	Calothrix	كالوثريكس ٤٤٥
Arcticate chromatin		Callose	كالوز ١٩٤

كلورومايستين ٥١٦ ، ٥٢١	nuclear ١٥٧ ، ١٤٠ نووي
Chloromycetin	كروكر وجروفر ٩٨٧
كلوريتا فاسيالس ١٠٧٣	Crocker & Groves
<i>Chlorita fascialis</i>	Chromoplasts ١٢٨ كروموبلاستات
<i>Chlorella</i> ٨٨٧ ، ٤٥٢ ، ٤٥٠	Chromoplasm ٣٦٧ كروموبلازم
Chlorellin ٥١٦ ، ٥٤٢	كروموسوم (صبغي) ١٦٤ ، ١٤١
كلوستريديم ٥١٨ ، ٣٥٠ ، ٣٣٠ ، ٣١٧	١٠٥٧ ، ١٠٥٦ ، ١٠٥٤ ، ١٦٤
<i>Clostridium</i>	Chromosome
<i>pasteurianum</i> ٣٤٢	الخلية بدائية النواة ١١٨
بوتولينم ٣٥٠ ، ٧٣٧ ، ٣٠٦	prokaryotic chromosome
<i>botulinum</i>	Chromomeres ١٠٦٣ كروموميرات
Klinostat ١٠٠٣	<i>Chrysanthemum</i> ٧١٥ كريسانثيم
<i>Pyrus communis</i> ٦٦٨ ، ٦٣٤	<i>Coriandrum sativum</i> ٦٩١ كزبرة
Dormancy ٩٨٣	البئر ٥٥٦ ، ٥٥٥ ، ٥٥٤ ، ٥٥٠
Kwanpu ٤٥١	<i>Adiantum capillus-veneris</i>
كوجل وهاجن سميت ١٠٠٣	كشك ألمانظ (أسبرجس) ٦٥٤ ، ٥١
Kögl & Haagen Smit	<i>Asparagus officinalis</i>
Corm ٧٠	Chalaza ٦٠٢
كوزميا ثنائية الأوراق ١٠٢٤	كلافيسبس بربورلأيا ٤٨٤ ، ٤٧٤
<i>Cosmos bipinnatus</i>	<i>Claviceps purpurea</i>
Kostychev ٨٧٢	كلاميدوموناس ٤٢٨ ، ٤٢٦ ، ١٢٨
Cocaine ١٥٥	<i>Chlamydomonas</i>
<i>Coccus</i> ٢٩٣	Clayton ٩٠٥ ، ٩٠٤
<i>Erythroxylon cola</i> ١٥٥	Klebs ١٠٢١
Collander ٧٧٢	كلورامفينيكول ٥٢١
& Barlund ٧٦٩	Chloramphenicol
Colchicine ١١٠٩	كلوروتتراسيكلين ٥٢٢
Collenchyma ١٧٥	Chlorotetracycline
Cholodny ١٠٠٧	<i>Chloroflexus</i> ٣٤٧
Coliphages ٤٠٩	Chlorophyll ٨٨٧
Coombe ١٠١٨	“a” ٨٨٨
Kombu ٤٥٠	“b” ٨٨٨
Kumiss ٣٣٩	أولى ٨٩٠
	هوائى ٩٠٦

<i>Laminaria</i>	لاميناريا ٤٥٣	كوندروميسس كروكاتس ٣٤٨ ، ٣٤٧
<i>bracteata</i>	براكتياتا ٧٧٧ ، ٤٥١	<i>Chondromyces crocatus</i>
Laminariales	لاميناريات (رتبة) ٤٥٢	كونيدات صغيرة ٥١١
<i>Lantana camara</i>	لانثانا كامارا ٦٩٩	كونيدة ٥١١ ، ٤٦٢
	لانديستيز وليفين ١١٤٩	كوؤس إسيدي ٤٩٣
Landsteiner & Levine		gemmae cups
<i>Landolfia</i>	لاندولفيا ٦٩٥	جيمية ٥٣٦
	لاهوانية إجبارية ٢٩١ ، ٣١١	Chitin
Obligate anaerobes .		كيتين ٤٥٥
	اختيارية ٢٩١	كيس جنيني ٥٧٢ ، ٥٨٤ ، ٦٠٢
facultative anaerobes		Embryo sac
	لبخ ٦٧٧ ، ٩٧٨	لقاح ٥٧٣ ، ٥٨٣ ، ٥٩٧
<i>Albizzia lebbek, A. moluccana</i>		pollen sac
Latex	لبن نباتي (يتوع) ١٨٤	<i>Kickxia</i>
Lignin	لجنين ١٢١	كيكسيا ٦٩٥
Bast, phloem	لحاء ١٩٢	Chemotrophs
<i>Colchicum autumnale</i>	لحاح ٦٥٤	كيمائية التغذية ١١٧
Plasticity	لدونة ٩٩١ ، ١٠٠٨	Kinetin
Viscosity	لزوجة ٧٢٨	كينتين ١٠١٩
Hart's tongue	لسان الأيل ٥٥٣	Quinine
<i>Potamogeton</i>	البحر ٢٦٥	كينين ١٥٥
	الحمل ٩٥ ، ٦٠٦	Cutin
<i>Plantago spp., P. major</i>		كيوتين ١٢١
	المصفور ٩٨٣	(ل)
<i>Fraxinus excelsior</i>		Exendospermic
Ligule	لسين ٨١ ، ٥٦٦	لا إندوسبرمية
<i>Cynoglossum</i>	لصيق ١٩٠	Non-symbiotic
Volva	لفافة ٤٩٧	لاتكافلي ٣٤٢
<i>Brassica rapa</i>	لفت ٦٦٦	Asexual
Napiform	لفقي (متكور) ٤٧	لاجنسي ٤٢٨
Blight	لفحة ١٠٧٢	Areticulate
Vaccines	لقاحات ٣٣٣ ، ٣٣٤	لاشبكة ١٤١
	للف زهرى ٤٠٦	Amitotic
<i>Lymphogranuloma venereum</i>		لافتيلي ٣٦٧
		<i>Lavandula officinalis</i>
		لافنديولا ٧٠٢
		لافة ٢٨٥ ، ٢٦٦ ، ٤٣٠ ، ٥٢٣ ، ١٠٦١
		Zygote
		لاوقات ٣٨٨
		Phages
		البكتريا ٣٨٨
		bacteriophages
		<i>Lactobacillus</i>
		لاكتوباسيلس ٣٣٩ ، ١٥٠
		<i>arabinosus</i>
		أرابينوزس ٩٧٥
		<i>plantarum</i>
		بلانتازم
		Lactose
		لاكتوز (سكر اللبن) ٤٧٩
		Lamarck
		لامارك ١١٠٣
		Eccentric
		لامركزية ١٤٨

Granular matrix	مادة أساسية حبيبية ١٢٢	<i>Vigna sinensis</i>	لوبيا ٦٧١
<i>Marchantia</i>	ماوكانتيا ٥٣٧ ، ٥٢٩	<i>Prunus amygdalus</i>	لوز ٦٦٩
Marquis	ماركيز ١٠٧٢	<i>Luffa cylindrica</i>	لوف ٧٠٩
Holdfast	ماسك ٤٣٩	Loftfield	لوفتفيلد ٧١٦
	ماك كول ويلار ٧٦٣	Leofler	لوفلر ٣٨٠
McCool and Miller		Lundegardh	لوديجورد ٧٧٢
McMortrey	ماك مورتراري ٩٧٠	Lepeschkin	ليشكين ٧٧٦
Hydrogen donor	مانحة الهيدروجين ٨٢٤	Lipman	ليمان ٩٦٨
Mannitol	مانيتول ٤٥٥		ليوبروتينات ١٢٦ ، ١٣٧
	ماهونيا أكويفوليم ٤٨٩	Lipoproteins	ليبيدات ٧٦٩
<i>Mahonia aquifolium</i>		Lipids	ليبيدات ٧٦٩
Myerhof	مايرهوف ٨٧٥	<i>Lippia nodiflora</i>	ليبيا ٧٩
Mosaic	مبقش ٧٤٥	Lipase	ليپز ٨٢٧ ، ٨٢٨ ، ٩٤٨
Protogynous	مبكرة الانوثة ٦١٢	Lysosomes	ليزسومات ١٣٢
protandrous	التذكير ٦١١	Lecithin	ليسيثين ٩٤٥ ، ٩٥٦
Plasmolysed	مبلزلة ٧٥٣	Lysine	ليسين ٣٩٧
	مبيدات آفات فوسفورية عضوية ٢٨٩		ليكانورا إسكيولتا ٥٠٥
Organophosphate pesticides		<i>Lecanura esculenta</i>	
Ovary	مبيض ٥٧٤ ، ٥٩٩		ليكونوستوك ميسترويدس ٣٤١
Gynoecium	مناع ٥٩٩	<i>Leuconostoc mesentroides</i>	
Anisogamous	متباينة الأمشاج ٤٣١	Lichenin	ليكينين ٥٠٥
	التركيب الوراثي ١٠٤٢ ، ١٠٤٠	<i>Citrus limon</i>	ليمون أضافيا ٦٨١
heterozygous		<i>Linaria</i>	ليناريا ٧٠٦
heterothallus	الثالوس ٤٧١	Linnaeus	لينيس ١٠ ، ١٢ ، ٦٤١
heterosporous	الجراثيم ٥٦٥	Leucine	ليوسين ٣٩٧
Sympetalae	متحدة (ملتحمه) البتلات ٦٤٣	Microfibrils	لييفات دقيقة ١٢٠
syncarpous	الكرابل ٦٠٠		(م)
Imbricate	متراكبة ٥٩٦		ماء إيجر وسكوبى ٧٨٩
	مترمة ٣١٤ ، ٣٢٣	Hygroscopic water	
Saprophytic, saprophytes		capillary	شعري ٨٧٩
obligate	إجباريا ٣٢٣	bound	مقيد ٣٣٠ ، ٧٢٦
facultative	اختياريا ٣٢٣	Matthaei	ماتاي ٨٩٦
Caducous	متساقطة ٥٩٤		

الأنسجة الوعائية أو التوصيلية ١٩٢	Homothallic ٤٧٠	متشابهة الثالوس
vascular, or conducting tissue systems	Polyploids ١١٠٩	متضاعفة الصبغيات
root system ١٥	Pleomorphic ٣٥٤	متعددة الأشكال
shoot system ١٧	polygenic ١١١٧	الجينات
مجموعتان صبغيتان ٩٠٤	multicellular ١١١	الخلايا
two-pigment systems	الصفوف (في أكثر من صف)	
مجموعة فعالة ٨٢٤	multiseriate ٤٨٤	
Active, or prosthetic group	plurilocular ٦٠٠	الغرف
Ultramicroscope ٧٢٩	Organisms	متعضيات
Incubator ٣٩٤	البليرونيمونيا ١١٤	
Power houses ١٣٠	pleuropneumonia	
Solution ٧٢٣	شبيهة البليرونيمونيا ١١٤	
Tyrodé's ٣٩٣	pleuropneumonia-like	
true ٧٢٣	لولبية ٣٠٧	
Shive's ٩٥٣	متطفلة ٣٢٣ ، ٣١٤	
colloidal ٧٢٤	Parasitic, parasites	
Fehling's ٩٢١	obligate ٣٢٣	إجباريا
balanced ٧٧٨	facultative ٣٢٣	اختياريا
Hoagland ٩٥٣	متكافل - متكافلة ٣٢٤ ، ٣١٧ ، ٣٢٤	
Hoagland 2 ٩٥٣ (٢)	Symbiont	
Rachilla ٦٤٦	Homologous ١٤١	متماثلة
Axial ٦٠١	التركيب الوراثي ١٠٤٠ ، ١٠٤٢	
Peritrichous ٣٠٣	homozygous	
Perigynous ٦٠٣	Bladders ١٠٥	مثنائات
Cones, strobili ٥٨١	Bivalents ٦٠٦٤	مثنائ صبغيّة متماثلة
female or ovulate	Methionine ٣٩٧	ميثيونين
male or staminate ٥٨١	Polysaccharides ١٣٥	مجاميع ريبوسومية
Mucilage ٢٩٧	tissue systems	نسيجية
Conifers ٩٥	System	مجموع
Conical ٤٧	الأنسجة الأساسية ١٧٥	
Pistil ٦٠٠	ground, or fundamental, tissue systems	
	الأنسجة الجلدية أو الضامة ١٨٦	
	dermal, or boundary, tissue systems	

مركبة (فصيلة) ١٨٥، ١٨٤، ١٨٣، ١٨٢، ١٨١

Compositae ٧١١

concentric مركزية ١٤٨، ٢٥٤

مركزي حر (وضع مشيمي) ٦٠١

Free central

Elasticity مرونة ٧٤٢

Gullet مري ٤٢٤

Culture-s مزروع - مزرعة ٢٨٩

enrichment إثرائية ٢٨٩

tissue نسيجية ٣٩٣

pure نقية ٢٨٨

Alisma مزار الراعي

Emulsion مستحلب ٧٢٣

Persistent مستديمة ٥٩٤

Colony مستعمرة ٢٨٨

daughter بنوية ٤٣٢

algal coenobium طحلبية ٤٢٧

مستقبلة الإيدروجين ٨٣٤

Hydrogen acceptor

Pathway مسلك - مسار ٨٧٥

EMP أم ب ٨٧٥

glycolic جليكولي ٨٧٥

فوسفات البنتوز ٨٧٥

pentose phosphate

Hatch-Slack هاتش-سلاك ٨١٩

Suberised مسورة ٢١٨، ٢٥٦

شمش ٢٣٩، ٦٣٢، ٦٦٩

Prunus armeniaca

Placenta مشيمة ٢٩، ٥٥٤، ٥٩٩

Valvate مصراعي ٥٩٥

Serum مصل ٣٦٦

Antigenic مضاد ٤٠٤

Antitoxins مضادات السموم ٣٣٤

Host range مدى عائلي ٣٩٢

مراحق (أقراص رحيقية) ١٨٣

Nectaries

Co- مرافق - مرافقات ١٣٢

الديهيدروجينيز ٨٢٥

dehydrogenase

ennzyme 1 إنزيمي (١) ٨٢٤

enzymes إنزيمية ١٣٢، ٨٢٤

Zymase زايمازي ٨٢٤

Pyrenoids مراکز نشا ٤٥٢٣

مرحلة قبل خلوية ٤٠٨

Precellular phase

Disease مرض ١١٤

eigot الإرجوت ٤٨٧

الحافر والقدم ٣٨٠

hoof-and-mouth

otomycosis الأذن الفطري ١٣

whiptail الذيل السوطي ٩٦٧

siphilis الزهري ٥١٩

top sickness القمة ٩٦٤

Pierce's بيرس ٣٥١

ذات الجنب والرئة ١١٤

pleuropneumonia

فطري أسبرجيلي ٥٠٩

aspergillosis

أسبرجيلي رئوي ٥١٤

pulmonary aspergillosis

اكتينوميكوزي ٥٠٨

actinomycosis

سبوروتريكي ٥٠٩

sporotrichosis

ميوكوري ٥٠٩

mucormycosis

نوكارددي ٥٠٨

Virus inoculum	ملقح فيروسى ٣٩٤	حيوية ٢٩٥ ، ٤٨٢ ، ٥١٥	
Polluted	ملوثة ٣٦٤	antibiotics	
Corchorus olitorius	ملوخية ١٥	Hevea brasiliensis	المطاط ١٥٦
Meleney	ملينى ٥٢٢	Elongate	مطولة ٣٦١
Haustoria	مصاصات ٥٢ ، ٤٦١ ، ٤٩٠	Stem tendrils	معاليق ساقية ٦٧
Immunity	مناعة ٣٣٣	Quotient, coefficient	معامل
artificial	صناعية ٤٠٤ ، ٣٣٣		البناء الضوئى ٩٠٢
natural	طبيعية ٤٠٤ ، ٣٣٣	photosynthetic quotient	
acquired	مكتسبة ٤٠٤ ، ٣٣٣		التنفس ٨٥٠
	منقولة ٤٠٥ ، ٤٠٤ ، ٣٣٦	respiratory quotient	
passive			الذبول ٧٨٨
	منبت سابورود ٥١١	wilting coefficient	
Saboraud's medium			حرارى ٢١
Induplicate	مثنوية للداخل ٦٩٦	temperature coefficient	
Mathiola	مشور ٦٦٥ ، ٦٣١ ، ١٩٠		معايشة - مؤاكلة ٣٦٥ ، ٣٢٤
Growth curve	منحنى النمو ٩٩٥	Commensalism	
	على شكل حرف S ٩٩٥ sigmoid		معلق ٧٢٣ ، ٦٢٣ ، ٥٨٨ ، ٥٧٧ ، ٤٦٨
	معدل النمو ٩٩٥ growth rate	Suspensor	
Monsonia	مفسونيا ٦٧٩	Petiolate, stalked	معنقة (ورقة) ٨٠
	منشئ ١٧١	Spindle	مغزل ١٦٤ ، ١٣٤
	الاسطوانة الوعائية ١٧٣ ، ١٧٠	Fusiform	مغزلى الشكل ٤٧
pleiome		Mangroves	مقابر الإنسان ٥٠
dermatogen	البشرة ١٧١		مقياس جانونج للتنفس ٨٥٦
periblem	القشرة ١٧١	Garong's respirometer	
calyptrogen	القلنسوة ١٧١		مكبسة (مغلفة بكبسولة) ٢٩٦ ، ٢٨٣
Stratified	منضد ٤٢٥	Encapsulated, capsulated	
Zone, region	منطقة ٤٤	Myxoxanthophyll	مكسوزانثوفيل ٣٦٠
	الاستطالة ٤٤ of elongation	Myxoxanthin	مكسوزانثين ٣٦٠
	الامتصاص ٤٥ absorbing	Blood agglutinate	ملازن دى ٤٠٦
	الجذور الجانبية ٤٦	Syngenesious	ملتحمة ٥٩٧
	of lateral roots		ملتويات (رتبة) ٦٩١ ، ٦٤٥
	النمو ٤٤ growing region	Contortae	
	منظمات النوية ١٤٢	Ligulated	ملتنة ٥٦٧
Nucleolus organisers		Melchers	ملشرس ١٠٧١

تيوبركيولوزس' ٣٣٥ ، ٥٠٧	منفصلة أعضاء الفلاف الزهري ٦٤٤
<i>tuberculosis</i>	Choripetalae
ميكوبلازومات ١١٣ ، ٢٨٢ ، ٢٩٥	Ciliated مهدب (ذو أهداب) ٤٢٦
<i>Mycoplasmas</i>	<i>Muehlenbechia</i> مهلبنكيا
ميكوبلازما جاليسبتيكم ١١٤	Spur مهاز ٥٩٤
<i>Mycoplasma gallisepticum</i>	Holdfasts مواسك ٥٩٤
<i>mycoides</i> مايكويدس ٣٥٤	Gram positive موجب لصيغة جرام ٥١٨
<i>pneumoniae</i> نيومونى ٣٥٤	Stipulate مؤذنة ٨٠
ميلثورب وروبرتسون ٧٧٣	Morgan مورجان ١٠٥٦
Milthorbe & Robertson	Maltase مرلتيز ٩٢٨
Miller ميلر ١٠٢٠	Antigen مولد المضاد ٤٠١
<i>Mougeotia</i> موجوتيا ١٢٨	Mollicutes مولكيتوتات ٣٥٥ ، ٢٨٢
(ن)	Muller موللر ١١١٣
Elaters ناثرات ٥٣٩	Metaplasm ميتابلازم ١٤٥
<i>Citrus aurantium</i> نارنج ٦٨١	Mitochondria ميتوكوندریات ١٣٠
Transaminases ناقلات الأمين	Metchnikoff ميتشنيكوف ٥١٥
نباتات	Mucopolymers ميوكوبوليمرات ٣٦٦
<i>Cinchona</i> الكينا ١٥٥	ميرتس كوميونس ٦٨٨
الماميران الصغير ٨٩٣	Myrtus communis
<i>Ranunculus ficaria</i>	Meurer ميرر ٧٧١
تقسيمي ٢٧٧	Mesosomes ميزوسومات ١١٦
Systematic Botany	Stigma ميسم ٥٩٩ ، ٥٩٣ ، ٥٧٤
جرثوى ٥٣٢ ، ٥٢٥	Mycines ميسينات ٢٩٥
Sporophyte, sporogonium	ميكروتاتوبيوتات ٣٥٦ ، ٢٨٢
epiphyte عالق ٣٢٤	Microtatiotes
مشيجى ٥٢٩ ، ٥٢٤	Microcystis ميكروستس ٣٦٤
gametophyte	Micrococcus ميكروكوكس ٣٠٧
Plants نباتات	دينيتريفيكانس ٣٤٤
الليل القصير ١٠٢٦	denitrificans
short-night	Micron ميكرون ١١١
long-day النهار الطويل ١٠٢٥	ميكسوكوكس زائئس ١١٦
short-day النهار القصير ١٠٢٥	Myxococcus xanthus
انشطارية ٢٨٢	Mycobacterium ميكوباكتيريم ٥٠٨
Schizophyta, fission-	

Coniferophyta	مخروطية ٥٧٧	Aneurophyta	أنيروفيتية ٥٤٩
Arthropoda	مفصليّة ٥٤٩	Protophyta	أولية ٢٨٢
halophytes	ملحية ٧٦٤		بشيرية ٥٥٠ ، ٥٤٩ ، ٥٢٦
	ميكروفيلية ٥٤٩	Pterophyta	
Microphyllrophyta			بذرية ٥٧٢ ، ٥٧٣
	هباتية (كبديّة) ٥٢٦ ، ٥٢٩	Spermatophyta	
Hepatophyta (liverworts)		Psilotophyta	بسيلوتية ٥٤٩
Holophytic	نباتية التغذية ٣٢٢		تريميروفيتية ٥٤٩
Nepenthes	نبس ١٠١	Trimerophyta	
Transpiration	نتح ٧٨٠	thallus	ثالوسية ٤١٩
cuticular	أدنى ٨٠١	xerophytes	جفافية ٧٦٤
stomatal	ثغرى ٨٠١	Ginkgophyta	جنگوية ٥٧٤
	نجيل ٦٣ ، ٦٨ ، ٦٤٩	Bryophyta	حزازية ٥٢٦ ، ٥٢٩
Cynodon dactylon			حقيقية النواة ١٣٨ ، ٣٠٩
	نجيلية (فصيلة) ٨٠ ، ٦٠٢ ، ٦٤٤ ، ٦٤٦	eukaryotic	
Gramineae		evergreen	دائمة الخضرة ٩٤
Medulla, pith	نخاع ٢٠٣ ، ٤٤٧		ذوات غلاف زهرى من سبلات
Tobacco necrosis	نخر الدخان ٣٩٠	Dialypetalae	وبتلات ٦٤٣
Ceratophyllum	نخشوش الحوت ٢٦٥		ذوات غلاف زهرى فى محيط واحد
Palm	نخيل ٦٥٠	Monochlamydae	٦٤٣
	البلح ٦٥٠	Rhyniophyta	رينياوية ٥٤٩
Phoenix dactylifera		Phanerogams	زهريّة ٦٤٢
	الرّخام ٦٥٢		زوستيروفيلية ٥٤٩
Oreodoxa regia		Zosterophyllophyta	
feather	ريشى ٦٥٢	Cycadophyta	سيكادية ٥٧٤
fan	مروحي ٦٥٢	epiphytes	عائلة ٧٦٥
	نخيلية (فصيلة) ٦٤٤ ، ٦٤٩ ، ٦٥٠	leguminous	قرنية ٣١٧
Palmae		Cryptogams	لازهرية ٦٤٢
Cressa cretica	ندو ٦٩٧	vascular	وعائية ٥٥١
Tissue	نسيج ١٧١	hydrophytes	مائية ٢٦٥ ، ٧٦٤
ground	أساسى ١٧٣	deciduous	متساقطة الأوراق ٩٤
spongy	اسفنجى ٢٢٨		متوسطة الرطوبة ٢٢٧ ، ٢٦٥
		mesophytes	٧٦٤

نصف سليولوز - شبه سليولوز ٣٦٦	transfusion ٥٨٠ إصفاق
Hemicellulose	إنشائي أولي ١٧١ ، ٢٠٢
Chromatid ١٤١ نصف صبغى	procambium
Blade, lamina ٨٢ نصل	apical ١٧١ قمى
نطاط - نطاط الحشائش ٣٥٣ ، ٤١٣	بارنشيمى كاذب ٢٤٧
Grasshopper	pseudoparenchyma
Theory نظرية	epidermal ١٨٦ بشرى
cohesion ٧٩٧ التماسك	storage ٥٣١ ، ٤٤٥ تخزينى
gene ١٠٦٠ الجين	assimillating ٥٣١ ، ٥٤٥ تمثيل
العوامل المحددة ٨٩١	aerenchyma ٢٦٦ تهوية
of limiting factors	palisade ٢٢٨ عمادى
<i>Mentha piperita</i> ٧٠٢ نناع	cork ١٨٦ فلىنى
نفاذية انتخابية ١٢١ ، ٧٦٨	كلورنشيمى ١٧٧
Selective permeability	chlorenchyma
<i>Medicago arabica</i> ٩٧٨ نفل عربى	closing ٢٥٩ مفلق
Pit-s ١٥٩ ، ١٢١ نقر - نقر	مفكك ٢٥٨
canal ١٥٩ قنرية	Loose complimentary
bordered ١٦٠ مضفوفة	مولد للجراثيم ٥٢٥ ، ٥٤٥
نصف مضفوفة ١٦٢	sporogenous, archesporium
half-bordered	مولد للساجحات الذكرية ٥٢٣
Turgor deficit ٧٥٥ نقص الامتلاء	spermatogenous
الضبط الانتشارى ٧٥٥	وسطى ٥٧٩ ، ٢٢٨ ، ١٧٦
diffusion pressure deficit	mesophyll
نقطة	نشأ
الانتهاء للتنفس اللاهوائى ٨٦٣	Starch ٣٦٨ الطحالب المزرقة
extinction point of anaerobic respiration	Cyanophycean
التبادل الكهربى ٧٣٤	glycogen ١٤٦ حيوانى
isoelectric	floridean فلوريدى
compensation ٨٩٦ التمويض	Metabolic activity ٣٩٢ نشاط أيضى
عينية ٤٢٤ ، ٤٢٨	Ammonification ٣١٦ نشدرة
eye spot, stigma	نشم ٨٩٩
Micropyle ٦٠٢ ، ٥٨٤ ، ٢٥	Ulmut
نموذج موزايكى سائلى ٧٤٦	
Fluid mosaic model	

Nitrates	نتراتات ٣١٣	Nucleus	مواة ١٢٠ ، ١٣٨
Nitrification	نيترة ٣١٢ ، ٣١٦	الاندوسبرم الابتدائي ٦٢١	
Nitrobacter	نيتروباكتريز ٣١٣ ، ٩١٦	primary endospore	
Nitrogenase	نيتروجينيز ٣٧٥	tube	أنبوبة ٥٩٩
Nitrocystis	نيتروستيس	generative	تناسيلة ٥٩٩
Nitrosococcus	نيتروسوكوكس ٣١٢	male	ذكورية ٦٢١
	نيتروسوموناس ٣١٢ ، ٩١٦	definitive	محددة ٦٢١
Nitrosomonas		نواتان قطبتيان ٦٢١	
Nitella	نيتيلا ٧٧٢	polar nuclei	
	نيكوتيناميد أدينين ثنائي النيوكليوتيد (ناث)	Inflorescence	تسورة ٦٠٥
Nicotinamide	٨٢٥ ، ٨٣٥	إغريضية - قنبوية ١٠٨ ، ٦٠٨	
adenine dinucleotide (NAD)		spadix	
نيكوتيناميد أدينين ثنائي النيوكليوتيد الفوسفاتي		dichasium	ثنائية الشعب ٦١٠
Nicotinamide	٨٢٥ ، ٨٣٥ (ناث فو)	umbel	خيمية ٦٠٦
adenine dinucleotide phosphate			سنبلية مركبة ٦٠٦
(NADP)		Compound spike	
Neilson	نيلسن ١٠٠٥	عديدة الشعب ٦١٠	
Nemophila	نيموفيليا ٩٨١	Polychasium	
Nucellus	نويسيله ٥٨٤ ، ٦٠٢	Raceme	عنقودية بسيطة ٦٠٦
Nucleotides	نيوكليوتيدات ٣٩٦	panicle	مركبة ٦٠٦
purine	بيورينيه ٣٩٩	racemose	غير محدودة ٦٠٥
pyrimidine	بيريميدينية ٣٩٩	cymose	محدودة ٦٠٥
Nucleases	نيوكليزات ١١٥٥	corymb	مشطية ٦٠٦
	(هـ)	catkin	هزيرة ٦٠٨
Harden & Young	هاردن وينج ٨٢٤	وحيدة الشعبة ٦٠٨	
Hariss	هاريس ٧٦٤	monochasium	
	هالوباكتيريوم ٢٩٦ ، ٣٦٠	Nostoc	نوستوك ٣٧٥ ، ٣٧٨ ، ٤٤٦
Halobacterium		Pruniforme	برونيفورمي ٣٥٨
Orobanche	هالوك ٥٢	Species	نوع ٢٨٣
Halococcus	هالوكوكس ٦٩٢	Nocard & Roux	نوكارد وروكس ٣٥٢
Hallier	هاليير ٦٤٣	Nocardia	نوكارديا ٥٠٧
Capitulum	هامة ٦٠٨		نوية ١٢٠ ، ١٣٩ ، ١٤١ ، ١٤٢ ، ٢٧٩
		Nucleolus	٤٧٤ ، ٣٦٧ ، ٣٠٢

Haines هينز ٨١٠ ، ٩٣١
Hyoscine هيوسين ٧٠٣
Hyoscyamine هيوسيامين ١٥٥
Hyoseris lucida هيوسيريس ٨٦
 (و)
wettstein وتستين ٦٤٣
 وجه أمامي أو صامى ٤٤١
Front, or velle, view
 وجه جانبي أو حزامي ٤٤١
Side, or girdle, view
 وحدة البناء الضوئي ٩٠٥
Photosynthetic unit
Unit membrane وحدة الغشاء ١٤٢
 وحيد (أو وحيدة) الجنس ٦١١
Unisexual
 uniovular البيضة ١١٢٣
 unicellular الخلية ١١١
 monotrichous السوط ٣٠٣
 الصف (مرتبة في صف واحد)
 uniseriate ٤٨٣
 unilocular الغرفة ٦٠٠ ، ٥٦٠
 monozygotic اللاقحة ١١٢٣
 المسكن ٤٣٥ ، ٥٣١
 monoecious
Human Heredity وراثية بشرية ١١١٧
 وربانية (فصيلة) ٦٩٥ ، ٦٦٧ ، ٦٤٥
Verbenaceae
 ورد ٦٦٨ ، ٦٦٩
Rosa damascena, R. involucre
Rosales ورديات (رتبة) ٦٦٧ ، ٦٤٤
Rosaceae وردية (فصيلة) ٦٤٤
Parchment paper ورق بارشمنت ٧٢٣
Leaf ورقة

هانر وبونر ١٠٢٧
Hamner & Bonner
 هيسكوس ٦٨٤
Hibiscus rosa sinensis
Hypnea هيبيا ٤٥٢
Heteroauxin هتيروأوكسين ١٠٠٣
 هجن أحادية ١٠٦٩ ، ١٠٤٤ ، ١٠٤٠
Monohybrids
Hybrid هجين ١٠٣٧ ، ١٠٧٤
Herman Dolk هرمان دولك ١٠٠٩
Hormone هرمون ١١٢١ ، ١٠٠٠
Sex hormones هرمونات جنسية ١١٢٢
Histamine هستامين ٤٨٨
Histidine هستيدين ٣٩٧
 هكسوزفوسفات أيسوميريز ٨٤٢
Hexose phosphate isomerase
Hendricks هندريكس ١٠٢٩
 هندسة وراثية ١١٥٣
Genetic Engineering
White هوايت ٧٩٧
Obligate aerobes هواية إجبارية ٢٩١
 هوجلاند وبروير ٧٧٣
Hoagland & Broyer
 ودافيس ٧٧٤
Hugo de Vries هوجو ديفريز ١١٠٦
Hormogonium هورموجونة ٢٧٦
Hooker هوكر ٦٤١
 هيدروكسي فينيل إيثيل أمين ٦٠٨ ، ٤٤٨
Hydroxyphenyl ethylamine
Hirts هيرتس ٤٠٦
Microskeleton هيكل دقيق ١٢٥
 هيما توكسيلون ٦٧٣
Haematoxylon campechianum
Hemicellulose هميسيليلوز ١٢٠

palmate	راحية ٨٦	acicular	إبرية ٨٣
pinnate	ريشية ٨٧	tubular	أنبوبية ٨٣
	مشرحة التفصص الراجي ٨٦	first	أولى ٥٦٢
palmatisect		simple	بسيطة ٨٢
pinnatisect	الريشى ٨٦	ovate	بيضية ٨٣
hastate	مزراقية ٨٣		جرثومية كبيرة ٥٩٣
lobed	مفصصة ٨٣	megasporophyll	
spathulate	ملعقية ٨٣		راحية التمرق ٨٥
Prophylls	ورقتان أوليتان ٢٦	palmately-veined	
	فلقيتان ٣١		القفصص ٨٥٦
cotyledonary leaves		palmately-lobed	
Leafy	ورقي ٥٢٩	lanceolate	رمحية ٨٣
Leaflets	ورقات ٨٣		ريشية التمرق ٨٥
Cushion-s	وسائد - وسادة ٤٦٢٠٦٦	pinnately-veined	
Placentation	وضع مشيمي ٠٦٠٠		التفصص ٨٥
Physiology	وظائف الأعضاء (علم) ٧١٧	pinnately-lobed	
Physiological	وظيفية ١١٢٥	tripinnate	ريشية ثلاثية ٨٧
	ولهم فوق ينجلي ٣٥٨	bipinnate	ثنائية ٨٧
Wilhelm von Negeli		paripinnate	زوجية ٨٧
Welwitschia	ولوتشيا ٩٥	imparipinnate	فردية ٨٧
Vinca rosea	ونكه ٦٩٣	Sagittate	سهمية ٨٣
	(ي)	linear	شريطية ٨٢
Jasminum grandiflorum	ياسمين ٦٩٢	little	صغيرة ٩٦٥
J. sambae	٩٦٣		ضحلة التفصص الراجي ٨٦
Clerodendron	ياسمين زفر ٩٥ ، ٥٤	palmatifid	
	هندي ٦٩٥	pinnatifid	الريشى ٨٦
Plumeria acutifolia			عميقة التفصص الراجي ٨٦
	ياسنت مائي (ورد النيل) ٢٦٥	pinnatipartite	
Eichhornia crassipes		pinnatipartite	الريشى ٨٦
Polymerise	يتيلمر ٩٠١	peltate	قرصية ٣٩
Latex	يتوع - لبن نباتي ١٥٤ ، ١٨٤	cordate	قلبية ٨٣
	يخضور (كلوروفيل) ٤٢١٤١٢٨٠٧	reniform	كلوية ٨٣
Chlorophyll		mottle	متبقعة ٩٦٤
		compound	مركبة ٨٢

Urethane	یوریتین ۸۳۷	„a„	«ا» ۳۵۸ ، ۴۲۶
	یوریدین ثنائی الفوسفات الجلوکوزی ۸۲۸	„b„	«ب» ۴۲۶
UDPG		Jaudice	یرقان ۳۴۹
Eurotium	یوروشیام ۴۸۱	Pimpinella anisum	ینسون ۶۹۱
Urease	یوریتز ۸۲۷	Yin & Tung	ین و تونج ۸۱۰
Citrus reticulatus	یوسفی ۸۶۱	Euglena	یوجلینا ۴۲۴
Ulothrix	یولوترکس ۱۲۸	Yorsinia	یورسینیا ۳۴۹

تصويب

الصفحة السطر	الخطأ	الصواب	الصفحة السطر	الخطأ	الصواب
١١	الأخير	Triticum Triticu	٦٥٨	٥	<i>Salix alba</i>
٢٣	١٧	<i>Vicia faba vicia fapa</i>	٦٦٠	٦	<i>Ficeas secamorus</i>
٢٦	٨	(Hypogeal) (Hypog al)			<i>Ficus sycamorus</i>
٥٩	١٣	ملساء	٦٧٥	٦	<i>Caesia acutifolia</i>
٦٧	١٢	Subterraneanstems			<i>Cassia acutifolia</i>
		Subterranean stens	٦٨٢	٩	<i>Altha rosea</i>
١٥٥		ستريكتين			<i>Althaea rosea</i>
١٩٠	٣	Haisor Trichomes	٦٨٦	١٢	<i>Eucalyptus Encalyptus</i>
		Hairs or Trichomes	٦٨٩	١١	الشمر
٢٢٤	٢	Endogenous	٦٩٣	١٣	<i>tVince rosea</i>
		Exogenous			(Vince rosea)
٢٨٥	٥	فوق ينجل	٦٩٦	٢٢	<i>Ipmoea pea-carpae</i>
٢٩٩	الأخير	Subtilis subtilis			<i>Ipmoea pes-carpae</i>
٣٠٨	٢٠	Plasmolemma	٨٣٨	١٩	إستريزات
		Plasmalemma	٨٤٨	١٧	دوراق ديوار
٣١٩	٢	<i>tAzotobacter</i>	٩٢٥		Fructofuranoce
		(Azotobacter)			Fructofuranose
٣٧٢	٩	Polypho-sphates	١٠٠٠	١٥	Auxins
		Polyphosphater	١٠١	٢٠١	Jensen jensen
٣٩٧	٨	Histidine Hisidine	٦٠٥	٨	الباب السادس والعشرون
٤٢١	١٦	Chlorophvll			النورة
		Chlorophyll	٦٢٧		الباب السابع والعشرون
٤٢٤	٤	(Euglena) ?Euglena			الثمار
٤٤١	٨	Front Fronte	١٠٢٦	١٧	الإضاءات
٥٩٧	١١	Syngeneslous	١٠٨٧	٢٠	<i>pursa -</i>
		Syngenesious			<i>bursa-</i>

منتدى سور الأزبكية

WWW.BOOKS4ALL.NET

<https://twitter.com/SourAlAzbakya>

<https://www.facebook.com/books4all.net>